

### CeA - computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit

Martin, Hans (Ed.)

Veröffentlichungsversion / Published Version

Sammelwerk / collection

**Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:**

Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V. - ISF München

#### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Martin, H. (Hrsg.). (1995). *CeA - computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit*. Berlin: Springer. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-100164>

#### Nutzungsbedingungen:

*Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.*

*Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.*

#### Terms of use:

*This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.*

*By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.*

Hans Martin (Hrsg.)

# CeA – Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit

Mit 64 Abbildungen

**Springer-Verlag**

Berlin Heidelberg New York

London Paris Tokyo

Hong Kong Barcelona Budapest

Martin (1995): CeA - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit.

URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-100164>

Prof. Dr.-Ing. Hans Martin  
Universität Gesamthochschule Kassel  
Institut für Arbeitswissenschaft  
Heinrich-Plett-Straße 40  
34109 Kassel

ISBN 3-540-59033-1 Springer-Verlag Berlin Heidelberg NewYork

Cip-Eintrag beantragt

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995  
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Satz: Reproduktionsfertige Vorlage des Herausgebers  
SPIN: 10482937 61/3020 - 5 4 3 2 1 0 - Gedruckt auf säurefreiem Papier

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Entstehung und Aufbau des CeA-Forschungsverbundes Hans Martin, IfA-GhK Kassel	1
1.2	Überblick über Ziele, Ergebnisse und Perspektiven des CeA-Forschungsverbundes Fritz Böhle, ISF München	6
1.2.1	Neuere Anforderungen an Technik durch neue Formen der Betriebs- und Arbeitsorganisation	6
1.2.2	Erfahrungsgeleitete Arbeit - eine notwendige Voraussetzung für flexible Produktion	8
1.2.3	CeA - Technik als "Werkzeug"	10
1.2.4	CeA - eine neue Perspektive für zukunftsweisende Innovationen	12
1.3	Literatur zu Kapitel 1	14
<b>2</b>	<b>Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen</b>	<b>17</b>
2.1	Sozialwissenschaftliche Grundlagen des CeA-Ansatzes Fritz Böhle, ISF München	17
2.1.1	Bedarf an qualifizierten Fachkräften bei fortschreitender Technisierung	17
2.1.2	Erfahrungswissen - eine wichtige, bisher unterschätzte Qualifikation	20
2.1.3	Erfahrungswissen - bisher vorherrschende Sichtweise	21
2.1.4	Subjektivierendes Handeln - eine neue Sichtweise des Erfahrungswissens und seiner Grundlagen	23
2.2	Systematik und Topologie kritischer Arbeitssituationen Hartmut Schulze und Ursula Carus, Psychologisches Institut 1 der Universität Hamburg	30
2.2.1	Kritische Arbeitssituationen bei der Prozeßvorbereitung	33



2.2.2	Kritische Arbeitssituationen bei der Prozeßlenkung	38
2.2.3	Kritische Arbeitssituationen bei der Prozeß- auswertung	40
2.2.4	Merkmale kritischer Arbeitssituationen in der Zerspanung	42
2.3	Leistungen und konstitutive Komponenten erfahrungsgeleiteter Arbeit Ursula Carus und Hartmut Schulze, Psychologisches Institut 1 der Universität Hamburg	48
2.3.1	Besondere Leistungen qualifizierter Arbeitskräfte mit CNC-Werkzeugmaschinen	48
2.3.2	Konstitutive Komponenten erfahrungsgeleiteter Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen	63
2.4	Bedarf und Perspektiven zur technischen Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit Helmuth Rose, ISF München und Klaus Dieter Lennartz, HATI Berlin	83
2.4.1	Defizite gegenwärtig bevorzugt eingesetzter CNC- Technik	83
2.4.2	Perspektiven für Optionen zur technischen Unter- stützung erfahrungsgeleiteter Arbeit	87
2.5	Ökonomische Aspekte erfahrungsgeleiteter Arbeit Matthias Klimmer und Gunter Lay, FhG-ISI Karlsruhe	94
2.5.1	Wirtschaftliche Bewertung von technischen Veränderungen	94
2.5.2	Probleme der Prozeßzugänglichkeit und der Nut- zung von Erfahrung bei der Anwendung der NC- Technik	94
2.5.3	Ökonomische Effekte eines verschlechterten Prozeßzugangs bei der Arbeit an CNC-Werkzeug- maschinen	99
2.6	Interdisziplinärer Erfahrungsaustausch als methodische Forschungsstrategie Ursula Carus und Hartmut Schulze, Psychologisches Institut 1 der Universität Hamburg und Peter Golinski, CNC-Zentrum Hamburg	103
2.6.1	Fragestellung und Methode	105
2.6.2	Schwerpunkte im Forschungsvorhaben	106
2.6.3	Organisation des Forschungsablaufs	108
2.6.4	Akteure der Forschung	110
2.6.5	Allgemeine Prinzipien und methodische Instrumente	113
2.6.6	CNC-Qualifizierung und Laborversuche als Einheit	120
2.6.7	Bewertung der Forschungsstrategie	124
2.7	Literatur zu Kapitel 2	126

<b>3</b>	<b>Technische Funktionsbausteine zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit</b>	<b>131</b>
3.1	Handlungsorientierte Informationsquellen und Zugriffsmöglichkeiten als alternative Ein- und Ausgabemedien Helmuth Rose, ISF München	131
3.1.1	Verschiedene Sichtweisen über die Funktion der Arbeitskraft bei der automatischen Zerspanung	132
3.1.2	Handlungsorientierte Informationsquellen für Arbeitskräfte	135
3.1.3	Handlungsorientierte Ein- und Zugriffsmöglichkeiten für Arbeitskräfte	138
3.2	Funktionsbausteine zur Unterstützung der Prozeßtransparenz	141
3.2.1	Visuelle Indikatoren Martin Carbon und Peter Heisig, FhG-IPK Berlin	142
3.2.2	Akustische Indikatoren Martin Carbon, FhG-IPK Berlin; Karin Joiko, Evelyn Linke und Gerd Kullmann, AIW Dresden; Robert Mertens, WZL Aachen und Roland Ruppel, PTW Darmstadt	159
3.2.3	Taktil-kinästhetische Indikatoren Roland Ruppel, PTW Darmstadt und Robert Mertens, WZL Aachen	177
3.3	Funktionsbausteine zur Unterstützung der Prozeßregulation	184
3.3.1	Regulation durch manuelle Prozeßführung Peter Ligner, FGAT Berlin; Robert Mertens, WZL Aachen und Roland Ruppel, PTW Darmstadt	184
3.3.2	Regulation mittels Spracheingaben Peter Ligner, FGAT Berlin und Robert Mertens, WZL Aachen	193
3.4	Erprobung kombinierter Funktionsbausteine zur Unterstützung von Prozeßtransparenz und Prozeßregulation Robert Mertens, WZL Aachen und Roland Ruppel, PTW Darmstadt	197
3.4.1	Erfolgreiche Erprobung bei der Drehbearbeitung	198
3.4.2	Erfolgreiche Erprobung bei der Fräsbearbeitung	202
3.4.3	Erfolgreiche Erprobung von rechnergestützten Sprachein- und -ausgabemedien unter Mitarbeit von Peter Ligner, FGAT Berlin	204
3.4.4	Weitere Entwicklungsmöglichkeiten von CeA-geprägten Ein- und Ausgabetechniken unter Mitarbeit von Peter Ligner, FGAT Berlin	206
3.5	Wirtschaftlichkeit der Funktionsbausteine Matthias Klimmer und Gunter Lay, FhG-ISI Karlsruhe	208
3.6	Literatur zu Kapitel 3	214

<b>4</b>	<b>Programmierung und Steuerungskonzepte</b>	<b>221</b>
4.1	Programmierkonzeptionen zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit	
	Annegret Bolte und Sören Striepe, IfA-GhK Kassel	221
4.1.1	Planung aus der Fertigungsperspektive	222
4.1.2	Programme als Arbeitsmittel für die Facharbeiter	224
4.1.3	Die Entwicklung einer Bearbeitungsstrategie als Weg zum Programm	224
4.1.4	Programmeingabe: DIN oder WOP oder manuell?	225
4.1.5	Ein Programm wird erst beim Einfahren fertiggestellt	227
4.1.6	Annäherung an die Endkontur: Schritt für Schritt anstelle einer "ex ante" Planung	229
4.1.7	Programme als Kommunikationsmittel	230
4.1.8	Programmierkonzepte für die Fertigung	231
4.2	Overrideprotokollierung als Weg zur schrittweisen Programmierung	
	Annegret Bolte und Sören Striepe, IfA-GhK sowie Angelika Costa und Uwe Metzler, IWF Berlin	232
4.2.1	Die Bedeutung der Overrideprotokollierung für direkte Eingriffe in den Bearbeitungsprozeß	232
4.2.2	Die Festlegung von Schnittwerten im Programm ist "Erfahrungssache"	234
4.2.3	Überprüfung der Schnittwerte beim Einfahren	234
4.2.4	Programmoptimierung während der Bearbeitung	236
4.2.5	Handhabung herkömmlicher Override-Funktionen an CNC-Werkzeugmaschinen	236
4.2.6	Gestaltungsanforderungen an die Override-Funktionen	237
4.2.7	Technischer Lösungsansatz und prototypische Realisierung	238
4.2.8	Funktionalität des Prototypenaufbaus	240
4.2.9	Die Erprobung des Prototyps durch Facharbeiter	242
4.3	Prozeßführung und bearbeitungsorientierte Steuerungsfunktionalität an Werkzeugmaschinen	
	Peter Ligner, FGAT Berlin	244
4.3.1	Anforderungen an eine bearbeitungsorientierte Prozeßführung	244
4.3.2	Anforderungen an steuerungstechnische Systemkonzepte zur Prozeßführung	250
4.3.3	Multimediale Prozeßführung an Werkzeugmaschinen - erste Befunde und Anforderungen	257
4.4	Literatur zu Kapitel 4	259

<b>5</b>	<b>Neue arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse durch die Erforschung der Entwicklungspotentiale erfahrungsgeleiteter Arbeit</b>	
	Helmuth Rose, ISF München und Hans Martin, GhK-IfA Kassel	263
5.1	Erfahrungsgeleitete Arbeit als Untersuchungsgegenstand komplexer Forschungsfragen	264
5.1.1	Die Rolle von Interdisziplinarität und Nutzerbeteiligung	264
5.1.2	Zusammengefaßte Befunde aus arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen und der Evaluation der technischen Komponenten	267
5.2	Entwicklungsperspektiven und Mindestanforderungen an die technische Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit	269
5.2.1	Entwicklungsperspektiven	270
5.2.2	Mindestanforderungen	271
5.3	Kritik und Erweiterung der arbeitswissenschaftlichen Grundannahmen über das Arbeitshandeln	273
5.3.1	Schwachstellen vorherrschender Konzepte	273
5.3.2	Konturen für eine erweiterte arbeitswissenschaftliche Problemsicht und Methodik	275
5.4	Konsequenzen für die Arbeitsforschung und Arbeitsgestaltung	278
5.4.1	Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerbeteiligung	278
5.4.2	Paradigma für Forschung und Gestaltung	279
5.5	Literatur zu Kapitel 5	280
<b>6</b>	<b>Herstellerübergreifende und nutzerorientierte Technikentwicklung als Innovationsstrategie für die Produktion im 21. Jahrhundert</b>	
	Helmuth Rose, ISF München	283
6.1	Linear-sequentielle Entwicklungsprozesse als noch vorherrschendes Innovationsmuster im Werkzeugmaschinenbau	283
6.1.1	Vergleich der Innovationsmuster zwischen der BRD, Japan und USA	284
6.1.2	Herstellerfokussierung bei Innovationsprozessen der BRD	285
6.2	Neue Anstöße für die Organisation von Entwicklungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau	286
6.2.1	Handlungsbezogene Angebote von Herstellern (auf der EMO 93)	286
6.2.2	Erweiterung von Entwicklungsperspektiven durch den Einbezug von Nutzern	287
6.3	Vernetzt-rekursive Entwicklungsprozesse als zukünftig bedeutsame Innovationsstrategie	290

6.3.1	Nutzerorientierte Leitbilder	290
6.3.2	Notwendigkeit neuer herstellerübergreifender Kooperationsformen	295
6.3.3	Forderung nach multifunktionalen Entwicklungswerkzeugen	298
6.4	Forschungsfelder für die Produktion im 21. Jahrhundert auf der Grundlage der neuen Innovationsstrategien	298
6.5	Literatur zu Kapitel 6	300
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	303
7.1	Liste der beteiligten Institute im CeA1-Verbund	303
7.2	Liste der beteiligten Unternehmen	304

# 1 Einleitung

## 1.1 Entstehung des CeA1 Projektes

Hans Martin, GhK-IfA Kassel

Der Forschungsverbund "Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit - CeA" hat eine Entstehungsgeschichte, die eng mit der Diskussion um die Gestaltbarkeit von Technik verbunden ist. In den 60er Jahre wurde noch vielfach die Dominanz technischer Entwicklung auf die Veränderung sowohl von Arbeitsbedingungen als auch von gesellschaftlichen Verhältnissen unterstellt. In der Soziologie äußerte sich diese Auffassung in der "Polarisierungsthese" (RKW 1970, Kern und Schumann 1970), in der Volkswirtschaftslehre bei der Lehre vom Technischen Fortschritt als eigenständiger Promotor volkswirtschaftlicher Prozesse (Hirsch 1970) und in der Arbeitswissenschaft als Anpassungsnotwendigkeit der Arbeitsorganisation und der Arbeitsgestaltung an die Technik (REFA 1952). In den Gewerkschaften wurde die Dominanz der Technik als Zwang der Automation und Rationalisierung (Friedrich 1966) und daraus erforderlicher Schutzmaßnahmen (z.B. Rationalisierungsschutzabkommen) thematisiert.

In den 70er Jahren erstarkte hingegen die Auffassung, daß die technische Entwicklung kein gesellschaftlicher Sachzwang ist, dem man sich "naturgemäß" anzupassen habe, sondern ein gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Prozeß, der von verschiedenen Interessen geprägt und vorangetrieben wird. Die Gesetzesinitiativen zum Arbeits- und Sozialrecht der Bundesregierung in den 70er Jahren waren von solch einer Grundhaltung mitgeprägt. Insbesondere das Forschungsprogramm zur "Humanisierung des Arbeitslebens - HdA" unterstellte die Gestaltbarkeit von allen Sachelementen eines Arbeitssystems:

- der Technik, dies sind z.B. Arbeitsmittel, Werkzeuge, Betriebsmittel, Werkzeugmaschinen, Transportmittel und Hebezeuge oder auch Verfahren, wie z.B. neue Verbindungstechniken, Laserbearbeitung und rechnergestützte Steuerung von Verfahren und Abläufen,

- der eingesetzten und zu bearbeitenden Materialien, dies sind z.B. Werkstoffe, Hilfsstoffe, Betriebsstoffe u.ä. sowie
- der Arbeitsumgebung mit ihren schädigenden und auf den arbeitenden Menschen einwirkenden Einflüssen, wie z.B. Lärm, Schadstoffemissionen, Klima, Beleuchtung, Vibration und Strahlung.

Bezogen auf die Technik wurde in diesem Forschungsprogramm in der Anfangsphase insbesondere die Handhabungstechnik untersucht und weiterentwickelt, unter dem Aspekt

- menschliche Arbeit zu erleichtern,
- Belastungen und Beanspruchungen abzubauen und
- menschengerechte Arbeitssituationen einzurichten.

Besonders Ende der 70er Jahren wurde die Einführung der Handhabungstechnik gesellschaftlich kontrovers unter dem Aspekt der Arbeitsplatzvernichtung und möglicher gesellschaftlicher Strategien zur Vermeidung negativer sozialer Folgen diskutiert. Über das HdA-Programm wurde neben dem Arbeitsmarkteffekt in breiter Öffentlichkeit auch die Gestaltungsoption thematisiert. So wurden neben der Entwicklung von rechnergesteuerten Industrierobotern auch die Entwicklung von vom Menschen gesteuerten Manipulatoren gefördert, um die menschlichen universellen Fähigkeiten durch "technische Hilfe" zu verstärken.

Dieser menschenorientierte Ansatz wurde auch schon 1976 in dem HdA-Programm für die CNC-Steuerungen von Werkzeugmaschinen thematisiert und in dem Projekt "Veränderung der Organisation des Arbeitsablaufs bei Werkzeugmaschinen durch den Einsatz von Mikrocomputer" der Universität Hamburg mit der Firma Traub von 1977 bis 1979 bearbeitet (Dieckmann und Klotz 1980).

Dieses Projekt hat die alte Kontroverse bei der Entwicklung der NC-Technik in den 50er Jahren am MIT aufgegriffen, die in den beiden unterschiedlichen Programmierkonzepten bestand:

- Erstellung des NC-Steuerprogramms durch das manuelle Bearbeiten eines (ersten) Teils bei gleichzeitiger Speicherung der geometrischen Verfahrenswege und der technologischen Werte wie Drehzahl, Vorschubgeschwindigkeiten, Kühlschmiermittelfluß und anderer Prozeßparameter (Record-Playback-Verfahren) sowie
- Codierung der elementaren Arbeitsvorgänge in Programmsätze mit Hilfe von maschinentechnisch orientierten Programmiersprachen (z.B. mit APT (automatical programming tool)).

In dem Projekt wurden verstärkt technische Elemente sowie Programmierhilfen entwickelt, die das Arbeitshandeln des Maschinenführers unterstützen sollten. So wurden sowohl das Element der Handeingabe als auch die Codierung von klassischen Arbeitszyklen (z.B. Gewindeschneiden) über Programmzyklen konzipiert und erarbeitet.

Parallel zu diesem Projekt wurde insbesondere unter den Sozialwissenschaftlern die These von der "Gestaltbarkeit der Technik nach sozialverträglichen Zielsetzungen" diskutiert und die alte Kontroverse der NC-Pro-

grammierung als ein Beispiel angeführt. Diese Diskussion wurde durch die deutsche Veröffentlichung der Darstellung dieser Kontroverse von Noble (1979) intensiviert. Sie nahm teilweise Formen eines "Glaubenskrieges" an, indem kontradiktorisch entweder die rechnergestützte Programmierung in der Arbeitsvorbereitung oder die Programmierung in der Werkstatt als die einzig "vernünftige" Form dargestellt wurde.

Insbesondere durch die unermüdliche Initiative der IG Metall (Blum 1987, Blum 1988) und den Nachweis der Wirtschaftlichkeit der Werkstattprogrammierung für ein repräsentatives Teilespektrum durch das FhG-Institut für Systementwicklung und Innovationsforschung (ISI) (Lay u.a. 1983) wurde die Diskussion um die verschiedenen Programmierkonzepte versachlicht. Die Marktrecherchen zu CNC-Steuerungen und die synoptischen Darstellung von arbeitsorientierten Kriterien durch die GhK (Martin 1984, Dunkhorst u.a. 1987) zeigten die Vielfalt der technischen Realisierungen und damit von Gestaltungsoptionen auf.

Mit dem Forschungsverbund "Werkstattorientierte Programmierverfahren - WOP" von 1984 bis 1987, gefördert im Programm "Fertigungstechnik" des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT), wurden die neueren Erkenntnisse aus der ergonomischen Softwaregestaltung (einheitliche Benutzungsoberflächen, Fenstertechniken usw.) und den zunehmenden Möglichkeiten der Hardwaretechnik in die Entwicklung eines Programmierverfahrens für die Werkstatt integriert. Die in dem Forschungsverbund beteiligten Anwenderfirmen zeigten in ihren betrieblichen Anwendungsfällen die wirtschaftlichen und humanen Vorteile dieser Entwicklung überzeugend auf (Ammon 1986, Ammon 1988, Raether und Ziegler 1986).

Von der sozialwissenschaftlichen Forschung wurde 1988 eine sehr eindrucksvolle Studie (Böhle und Milkau 1988) zur Beurteilung der Arbeit an CNC-Werkzeugmaschinen durch die Werkzeugmaschinenführer selbst vorgelegt, in der die Diskrepanzen zwischen der konventionellen Maschinenarbeit und der Arbeit an CNC-Maschinen in vielen Fallstudien belegt wurde.

Nach Abschluß des WOP-Projektes wurde unter Berücksichtigung der zeitlich parallel erarbeiteten Befunde der erlangte Stand der Technikgestaltung von CNC-Werkzeugmaschinen neu bewertet. Insbesondere die für die Bürodatenverarbeitung (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation usw.) entwickelten Softwareprodukte hatten Ende der 80er Jahre schon eine Nutzerfreundlichkeit erlangt, die weit über der der CNC-Steuerungen lag. Dies wurde auch zunehmend von den Steuerungsherstellern erkannt, und sie versuchten, die neuen Erkenntnisse und Standards in ihre Software umzusetzen.

Als defizitär wurde dagegen die Generierung und die Nutzung des Erfahrungswissens der Facharbeiter in der Handhabung der hochtechnisierten CNC-Werkzeugmaschinen erkannt.

Diese Erkenntnis sollte sowohl in ihrer wissenschaftlichen als auch betrieblichen Dimension näher spezifiziert werden. In einem von den beiden Projektträgern "Fertigungstechnik - FT" und "Arbeit und Technik - AuT" (Nachfolge des HdA-Programms) des BMFT initiierten Forschungsverbund von elf wissenschaftlichen Instituten, die sich bis dahin einschlägig



mit der Arbeit an CNC-Werkzeugmaschinen beschäftigt hatten, wurde das in den verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen erarbeitete Wissen zusammengetragen. In diesem Verbund waren arbeitswissenschaftliche, berufspädagogische, psychologische, sozialwissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Fachdisziplinen vertreten mit dem Ziel, einen umfassenden interdisziplinären Überblick des aktuellen Stands der wissenschaftlichen Erkenntnis zu erarbeiten.

Die Ergebnisse dieses vom BMFT in 1988 geförderten Projektes "CNC-Entwicklung und -anwendung auf der Basis erfahrungsgeleitete Arbeit" wurden in zwei Workshops den Herstellerfirmen von CNC-Steuerungen und CNC-Werkzeugmaschinen, ihren Verbänden sowie interessierten Anwenderfirmen vorgestellt und auf die Aspekte "betriebliche Bedeutung" und "technische Realisierbarkeit" mit ihnen diskutiert. Aus diesen gemeinsamen Diskussionen wurden sieben bedeutende Gestaltungsfelder identifiziert und in einem Grundsatzpapier zur erfahrungsgeleiteten Arbeit zur Diskussion gestellt (Martin und Rose 1989).

1. Generelle technische, organisatorische und qualifikatorische Leitvorstellungen und Gestaltungsregeln zur Berücksichtigung erfahrungsgeleiteter Arbeit,
2. Erhaltung und Ausweitung des Aufgabenzuschnitts an der CNC-Werkzeugmaschine durch Werkstattprogrammierung und interaktive Dialoggestaltung,
3. Ausweitung des Aufgabenzuschnitts in der Werkstatt durch vernetzte Strukturen der Auftragsabwicklung und Kapazitätsauslastung (CNC-PPS-Kopplung),
4. Optimierung des Aufgabenzuschnitts in der Werkstatt durch vernetzte CNC/CAD-Strukturen,
5. Entwicklung von technischen Systemkomponenten zur unmittelbaren Prozeßtransparenz und direkten Prozeßregulation für den Erwerb von Erfahrungswissen,
6. Förderung interaktiver Kommunikationsstrukturen durch entscheidungsorientierten Datenfluß auf der Basis verteilter Datenhaltung und Benutzerbeteiligung bei der Systementwicklung und
7. Anforderungen an die Qualifizierung für eine erfahrungsgeleitete rechnergestützte Facharbeit in der Werkstatt.

Zur Bearbeitung dieser Gestaltungsfelder konstituierten sich drei Teilverbünde:

1. Neue Formen des Erfahrungswissens und deren technischen Unterstützung zur Prozeßbeherrschung  
(mit den Gestaltungsfeldern 2,5 und 6),
2. Sicherung und Förderung von Erfahrungswissen in der CIM-Umgebung  
(mit den Gestaltungsfeldern 1,3,4 und 6) und
3. Erwerb, Sicherung und Förderung von Erfahrungswissen durch neue Formen der Vermittlung und Aneignung  
(mit den Gestaltungsfeldern 1,2,6 und 7).

Diese stellten Anträge an den Projektträger AuT, die nach positiver Begutachtung durch die Sachverständigenkreise mit folgenden Projekttitel bewilligt wurden.

1. Prozeßbeherrschung durch Erfahrungswissen und deren technischen Unterstützung (CeA 1) von 1990 bis 1994 - Koordination: Hans Martin (GhK-IfA), Kassel
2. Erfahrungswissen im CIM-Umfeld: Grundlegend Untersuchungen zur Sicherung und Förderung von Erfahrungswissen in der betrieblichen Praxis (CeA 2) von 1990 bis 1994 - Koordination: Gunter Lay (FhG-ISI), Karlsruhe
3. Entwicklung eines erweiterten Lernaufgabenkonzeptes für erfahrungsgeleitete Tätigkeitsanteile in der computergestützten Arbeit (CeA 3) von 1991 bis 1993 - Koordination: Tillman Krogoll (FhG-IAO), Stuttgart

Die in diesem Buch dargestellten Ergebnisse geben die in den Forschungsarbeiten des ersten CeA1-Verbundes gewonnen Erkenntnisse wider.

Von anderen Forschern wurden weitere Fragestellungen und Spezifizierungen formuliert, die entweder die obengenannten sieben Gestaltungsfelder vertiefen oder ergänzen und nicht von den ersten CeA-Verbünden bearbeitet wurden.

So wurde in einem Projekt der Technischen Universität Hamburg-Harburg, Arbeitsgebiet Arbeitswissenschaft, eine "Wissenspsychologische Analyse von Planungs- und Realisierungsprozessen in der Industrie und menschengerechte Gestaltung durch Verbesserung der Zusammenführung von Planungs- und Erfahrungswissen" von 1989 bis 1992 durchgeführt (Wehner u.a. 1993).

In einem Vorprojekt von 1991 bis 1992 eines kleinen Forschungsverbundes wurde die "Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung" als eine im CeA1-Verbund nicht behandelte Spezialisierung angegangen (Kochan u.a. 1992).

Die Thematik der Produktionsplanung und -steuerung im CeA2-Verbund wurde vom Forscherverbund "Leitstände für die Werkstattsteuerung (PLANLEIT)" (Bullinger 1992) von 1991 bis 1993 vertieft behandelt.

Vom Forscherverbund "Lernen und Fertigen" von 1991 bis 1993 wurden insbesondere neuere Qualifizierungsansätze beim Übergang von manueller konventioneller Arbeit an Werkzeugmaschinen zur Maschinenführung von CNC-Maschinen thematisiert (Keller 1993).

Allgemein wurde die betriebliche Bedeutung der Thematik "erfahrungsgeleitete Arbeit" von den einschlägigen Forschungsförderinstitutionen wie BMFT, BMBW, DFG, AIF und einzelner Verbände erkannt und weitere Forschungsvorhaben gefördert, deren Aufzählung hier zu weit führen würde.

## **1.2 Überblick über Ziele, Ergebnisse und Perspektiven des CeA-Forschungsverbunds**

Fritz Böhle, ISF München

### **1.2.1 Neuere Anforderungen an Technik durch neue Formen der Betriebs- und Arbeitsorganisation**

Trotz der Erfolge in der CNC-Technik hat sie nicht - wie ursprünglich erwartet - die konventionelle Technik in den Betrieben ersetzt. Auch hat eine sehr heftige Diskussion darüber eingesetzt, wie zukünftig überhaupt eine effiziente überlebensfähige Organisation der Produktion aussehen soll. Konzepte und Ratschläge hierzu sind mittlerweile vielfältig - ja, man kann geradezu von einer Konjunktur neuer Organisationsmodelle sprechen: Lean Production, Fraktale Fabrik, Lernende Organisation u.ä. Selbst wenn hier oft - vor allem, was die praktische Umsetzung betrifft - mehr Fragen aufgeworfen als beantwortet werden, besteht doch in einem Einigkeit: Die Annahme, daß eine effiziente Produktion nur durch eine immer weitere Standardisierung und Automatisierung von Arbeitsabläufen sowie durch eine möglichst umfassende zentral organisierte Planung zu erreichen ist, wurde erheblich erschüttert; das sog. tayloristische Modell der Produktionsorganisation hat als Wegweiser für den "only one best way" ausgedient. Notwendig werden Produktionsstrukturen, die nicht nur eine rationelle Massenfertigung, sondern ebenso auch eine effiziente und qualitätsorientierte flexible Produktion ermöglichen. Daraus resultiert auch ein neuer Bedarf an qualifizierten Fachkräften für die Produktion (vgl. Kap. 2.1).

Die Diskussion um neue Organisationsformen sind eine Reaktion auf veränderte gesellschaftliche Rahmendaten der Produktion, insbesondere der teils turbulenten Entwicklungen auf den Absatzmärkten. Vor allem Klein- und Mittelbetriebe als Hauptanwender von Werkzeugmaschinen müssen in der Lage sein, flexibel zu produzieren, gleiches gilt aber auch für Spezialabteilungen in Großbetrieben, z.B. dem Werkzeugbau.

Damit erlangt aber auch die Frage, wie zukünftig Produktionsarbeit aussieht, welche Technik und welcher Typ von Arbeitskraft benötigt wird, eine neue Wende: Es reicht nicht aus, die Arbeitsorganisation und Qualifikation von Arbeitskräften an eine bestimmte Technik anzupassen; zentral wird die Frage, ob die vorhandene Technik den Anforderungen an eine flexible Produktion mit hohen Qualitätsstandards entspricht. Erfahrungen in der Praxis zeigen, daß dies nicht der Fall ist.

Der Einsatz von CNC-gesteuerten Werkzeugmaschinen kann zwar mit unterschiedlichen Formen der Arbeitsorganisation kombiniert werden: Programmierung in der Arbeitsvorbereitung oder an den Maschinen, der Einsatz von Angelernten oder Facharbeitern, Spezialarbeiten oder komplexe Arbeitsaufgaben sind hierfür Beispiel und verweisen auf neue und erweiterte "Spielräume" in der Gestaltung der Arbeitsorganisation beim Einsatz von CNC-Werkzeugmaschinen. Aber etwas genauer besehen finden sich in der betrieblichen Praxis zwar sehr vielfältige Varianten, doch

werden diese teilweise eher gegen die Technik als mit ihrer Unterstützung und effizienten Nutzung entwickelt.

Fragt man also nicht danach, was "möglich", sondern was "effizient" ist, erweist sich die bisherige Entwicklung von CNC-gesteuerten Werkzeugmaschinen in hohem Maße als einseitig.

Eine zentrale Schwachstelle der bisherigen technischen Entwicklung ist: CNC-Werkzeugmaschinen sind sehr stark durch das Konzept eines "Automaten" beeinflusst, der eingerichtet, programmiert und in Gang gesetzt wird und ansonsten ohne weiteres ohne menschliches Zutun das gewünschte Produktionsergebnis herstellt. Die Verkapselung der Maschinen bringt dies sinnfällig zum Ausdruck: Die Abschottung gegenüber menschlichen Eingriffen und des Kontakts zu der Durchführung der Bearbeitungsvorgänge. Menschliche Arbeit konzentriert sich demnach primär auf das Erstellen eines Programms und nicht mehr auf den praktischen Umgang mit den Maschinen selbst. Die Erstellung des Programms ist von der Annahme geleitet, daß "ex ante" die Bearbeitungsvorgänge exakt festgelegt und die relevanten Prozeßparameter entsprechend bekannt sind und festgelegt werden können. Grundlage hierfür sind systematisch-methodische Analysen und Beschreibungen der Eigenschaften von Material und Werkzeugen sowie Maschinenfunktionen einerseits und allgemeiner Regeln des Programmierens andererseits. Nach diesen Grundsätzen kann z.B. ein Programm unabhängig von der praktischen Durchführung von Bearbeitungsvorgängen an Maschinen erstellt werden. Doch gerade dies ist in weiten Bereichen der betrieblichen Praxis nicht der Fall.

Um jedoch keine falschen Fronten aufzubauen: Das Konzept der Automatisierung mag auch zukünftig weiter seine Berechtigung und Faszination haben. Als alleiniges und vorherrschendes Leitbild für technische Innovationen erweist es sich jedoch als höchst unzulänglich, wenn nicht gefährlich. Für die Technikentwicklung gilt gleiches wie für die Betriebs- und Arbeitsorganisation: Wer meint, daß es einen "only one best way" gibt, und wer glaubt, daß zukünftig in der industriellen Produktion sich der Einsatz von Technik und die Gestaltung der Arbeitsorganisation in einem - bestenfalls zeitlich verzögerten - Gleichschritt vollziehen, hängt veralteten Vorstellungen an. Je früher man sich hiervon verabschiedet, um so eher besteht die Chance, die Zukunft nicht zu verpassen.

Die Entwicklung werkstattorientierter Programmierverfahren ist eine Antwort auf Erfordernisse der Praxis. Doch ist dies nur ein erster Schritt in eine Umorientierung der technischen Entwicklung. Insbesondere zwei Probleme sind bisher nicht gelöst:

- Auch bei werkstattorientierten Programmierverfahren ist oft ein "Leitbild" vorherrschend, bei dem nicht von einer fachlich qualifizierten Arbeitskraft an der Maschine, sondern von gering qualifizierten Arbeitskräften ausgegangen wird. Ziel ist demnach, den Umgang mit den Steuerungssystemen möglichst zu "vereinfachen", und zwar nicht nur im Sinne einer Erleichterung der "Bedienbarkeit", sondern insbesondere auch im Sinne der Bedienerführung und Begrenzung von Entscheidungsmöglichkeit. Der Mensch als Risikofaktor, den es weitmöglichst auszuschalten gilt und dem dort, wo er benötigt wird, technisch

"geholfen" werden muß, sind Annahmen, durch die solche technischen Konzepte beeinflußt werden - auch wenn dies vielfach gar nicht explizit definiert oder bewußt ist.

- Auch in Verbindung mit der Entwicklung werkstattgerechter Programmierverfahren sind CNC-gesteuerte Werkzeugmaschinen primär als "Automaten" konzipiert. Demnach gilt: Wenn das Programm erstellt ist, läuft die Bearbeitung automatisch ab. Der Bearbeitungsvorgang soll durch eine vorangehende Simulation überprüft oder - soweit überhaupt - am Bildschirm anhand des Programmablaufs kontrolliert werden. Was demgegenüber tatsächlich in den Maschinen abläuft, ist nicht von Belang. Doch dies ist ein erheblicher und sehr verhängnisvoller Irrtum.

### **1.2.2 Erfahrungsgeleitete Arbeit - eine notwendige Voraussetzung für flexible Produktion**

Eine vollständige exakte und systematische Erfassung der relevanten Prozeßparameter ist in der Praxis nur begrenzt möglich. Tabellenwerte und Angaben von Herstellern zu Technologiedaten (z.B. Drehzahl, Schnittgeschwindigkeit) sowie allgemeine Regeln des Programmierens sind zwar anwendbar, sie führen aber sehr häufig zu keinen optimalen Ergebnissen. Hierin liegt ein wichtiger Grund für den Bedarf an qualifizierten Fachkräften. Es fällt ihnen die Aufgabe zu, Technologiedaten in Abhängigkeit nicht nur von Material und Werkzeugen, sondern auch von Bearbeitungsvorgängen, Maschineneigenschaften und Qualitätsanforderungen zu ermitteln und zu optimieren. Ferner entwickeln qualifizierte Fachkräfte auch effizientere Bearbeitungsstrategien als "externe" Programmierer, da sie die besonderen Gegebenheiten an den Maschinen und den konkreten Bearbeitungsablauf besser kennen und berücksichtigen können. Und schließlich ist es auch notwendig, wenn die Bearbeitungsvorgänge programmgesteuert ablaufen, Unregelmäßigkeiten im Prozeßverlauf frühzeitig zu erkennen und zu korrigieren oder zumindest kostspielige Folgeschäden zu vermeiden. Die sich hierin zeigenden Grenzen für eine vollständige "ex ante"-Erfassung der Einflüsse und Wirkungszusammenhänge in der Metallbearbeitung sind durch umfangreiche empirische Untersuchungen dokumentiert; sie sind in Kap. 2.2 ausführlich dargestellt.

#### **(1) Erfahrungsgeleitete Arbeit**

Die Leistungen qualifizierter Fachkräfte beruhen zu einem Großteil auf ihrem "Erfahrungswissen". Dies umfaßt jedoch weit mehr als bloße Routine oder einen in der Vergangenheit angesammelten Erfahrungsschatz. Eine wichtige Rolle spielt das "Erfahrung machen" als eine Methode, um speziell neue Anforderungen, die sich auf Veränderungen von neuartigen Situationen, die sich durch neue Materialien, Werkzeugen, Produktion usw. ergeben, zu erfassen und praktisch zu beherrschen. Diese Art zu arbeiten, läßt sich als "erfahrungsgeleitete Arbeit" bezeichnen.

Wie in umfangreichen empirischen Untersuchungen nachgewiesen wurde, unterscheidet sich eine solche erfahrungsgeleitete Arbeit von einem (natur-)wissenschaftlich-analytisch geleiteten Vorgehen. Es beruht auf

einer komplexen sinnlichen Wahrnehmung (Sehen, Hören, Greifen), durch die auch nicht präzise erfaßte und definierte Prozeßäußerungen wahrgenommen werden (wie z.B. Geräusche an den Maschinen, Farbveränderungen beim Spanfluß, Unregelmäßigkeiten bei Materialoberflächen u.ä.). Gefühle und subjektive Empfindungen sind dabei nicht ausgeschaltet, sondern ein wichtiger Bestandteil der Arbeit und sind verbunden mit assoziativ-intuitiven Formen des Denkens. Die Durchführung einer Bearbeitung erfolgt schrittweise, wobei das jeweils erzielte Ergebnis eines Bearbeitungsschritts das weitere Vorgehen beeinflusst. Auch, wenn mehrere Arbeitsschritte (vorweg-)geplant werden, geschieht dies "schrittweise"; qualifizierte Fachkräfte stellen sich im Geist die Bearbeitungsvorgänge an den Maschinen vor und können damit Probleme bei der Bearbeitung antizipieren. Eine ausführlichere Darstellung des Konzepts erfahrungsgeleiteter Arbeit sowie der Ergebnisse der empirischen Untersuchung zu den Merkmalen und Leistungen erfahrungsgeleiteter Arbeit mit CNC-Maschinen erfolgt in Kap. 2.1 und 2.3.

## **(2) Defizite der vorherrschenden technischen Konzepte**

Berücksichtigt man die in der Praxis bestehenden Anforderungen an eine erfahrungsgeleitete Arbeit und deren Leistungen, ergeben sich neue Anforderungen an die Technik. Die Entwicklung werkstatorientierter Programmierverfahren (WOP) ist ein Schritt in dieser Richtung (s.o.), der jedoch zu ergänzen und weiterzuführen ist. Es sind zusätzliche technische Lösungen notwendig, mit denen insbesondere die - nach wie vor - bestehenden Schwachstellen der CNC-Entwicklung korrigiert und überwunden werden können. Es sind dies:

- Das Konzept des Programmierens, das auf beschreibenden Verfahren und auf einer Trennung von Planung und Ausführung beruht:  
Nicht nur bei externer Programmierung, sondern auch bei werkstatorientierten Programmierverfahren (WOP) wird davon ausgegangen, daß "ex ante" ein Programm möglichst vollständig und detailliert festgelegt und weitgehend auch durch Simulation überprüft werden kann. Ferner sind - trotz Erleichterung und Verbesserung des Programmierverfahrens - nach wie vor handlungsbezogene Vorgehensweisen zur Programmerstellung, die auf der direkten Durchführung einer Bearbeitung beruhen, nicht oder nur sehr begrenzt möglich.
- Die Einschränkung der Prozeßtransparenz und der sinnlichen Wahrnehmung von Bearbeitungsvorgängen:  
Durch die Verkapselung wird zwischen den Bearbeitungsvorgängen und den Arbeitenden eine "Barriere" errichtet. Sie führt zu einer Behinderung des Sichtkontakts und beeinträchtigt auch die akustische Wahrnehmung - insbesondere, was ein differenziertes Wahrnehmen der Bearbeitungsgeräusche betrifft. Soweit die unmittelbare Wahrnehmung durch technisch vermittelte Informationen ergänzt (ersetzt) wird, richtet sich dies nur auf einzelne Funktionen (z.B. Programmablauf, Antriebsleistung) und digitale Anzeigen. In der Praxis wird daher speziell beim Einfahren von Programmen die Verkapselung geöffnet. Bereits schon gegenwärtig und zukünftig verstärkt ist dies aus sicherheitstechnischen



Gründen jedoch nunmehr mit zeitaufwendigen Unterbrechungen der Bearbeitungsvorgänge möglich.

- **Die Beschränkung der direkten manuellen Steuerung:**  
Die gegenwärtig verfügbare manuelle Steuerung ist überwiegend nach den gleichen Prinzipien gestaltet wie die Programmerstellung. Maschinenfunktionen werden durch das "manuelle" Eingeben von Steuerungsbefehlen in Form von Symbolen und Tastaturen ausgelöst. Instrumente zur stufenlosen Regulierung wie insbesondere elektronische Handräder erlauben zwar eine direktere, manuelle Regulierung; unbefriedigend ist aber die Belegung mit Mehrfachfunktionen (Achsen, Override), die fehlende (Kraft-)Rückkoppelung und die Beschränkung der Funktionsbereiche. So wird zwar eine manuelle Steuerung angeboten, ohne daß hierdurch aber eine erfahrungsgeleitete Arbeit effektiv unterstützt wird. Eine weitere Diskussion und Begründung solcher Defizite findet sich in Kap. 2.4.

### 1.2.3 CeA - Technik als "Werkzeug"

Das technische Konzept einer "computergestützten erfahrungsgeleiteten Arbeit" (CeA) richtet sich darauf, die genannten Defizite der bisherigen Entwicklung von CNC-Werkzeugmaschinen zu überwinden. Es beschreibt ein Steuerungs- und Maschinenkonzept, das auf drei Grundsätzen beruht: Prozeßtransparenz, manuelle Steuerung und handlungsbezogene Programmerstellung. Zu ihrer technischen Realisierung wurden jeweils einzelne Komponenten entwickelt und erprobt.

#### (1) Prozeßtransparenz und Zugänglichkeit der Bearbeitung

Informationen über konkrete Bearbeitungsvorgänge dürfen nicht nur auf das reduziert sein, was exakt meßbar und durch eindeutig definierbare Symbole und Signale dargestellt werden kann. Das gilt speziell für optische, akustisch und haptisch-taktil wahrnehmbare Prozeßeigenschaften und -äußerungen. Der einfachste Weg hierzu ist die direkte Zugänglichkeit - so wie dies z.B. bei konventionellen Werkzeugmaschinen der Fall ist. Ist dies aus Gründen der Sicherheit oder anderweitigen technischen Gegebenheiten nicht möglich, entstehen neue Anforderungen an technische Innovationen. Es sind technische Medien ("Sensoren") notwendig, die in der Lage sind, komplexe und vielschichtige Prozeßäußerungen "authentisch" zu erfassen und zugänglich zu machen. Technik hat hier die Funktion, wahrnehmbar zu machen, was ohne ihre Hilfe nicht mehr (unmittelbar) wahrnehmbar ist.

Prototypisch hierfür ist die Nutzung des Körperschalls, der bei der Zerspanung in der Halterung von Werkzeugen abgenommen wird als Informationsquelle zur Bearbeitung, Prozeßregulierung und Überwachung. Informationsquellen (Geräusche) werden zugänglich gemacht, bei denen die Fachkraft selbst darüber entscheidet, was sie als relevante Information auswählt und woran sie diese erkennt. Der Informationsgehalt entsteht erst im Bewertungsprozeß aufgrund der Kompetenz der Arbeitskräfte. Im Unter-

schied zur Prozeßautomatisierung haben hier also Sensoren zur Erfassung von Prozeßäußerungen eine andere Funktion, Verwendung und technische Auslegung. Eine ausführlichere Darstellung der im CeA-Forschungsverbund entwickelten technischen Komponenten zur Erhöhung der Prozeßtransparenz findet sich in Kap. 3.2.

## **(2) Manuelle Steuerung der Maschinen und Bearbeitungsabläufe**

Auch an CNC-Maschinen ist für die manuelle Steuerung eine bewegungs- und handlungsbezogene Instrumentierung notwendig. Bewegungen der Maschinen müssen durch die direkte Übertragung manueller Bewegungen auslösbar und regulierbar sein, so daß es nicht notwendig ist, sie durch präzis definierte Informationen und Befehle zu beschreiben.

Prototypisch hierfür ist der im Forschungsprojekt CeA entwickelte Joystick mit der Kraftrückkoppelung zur Regulierung der Verfahrswege von Achsen und ihrer Vorschubgeschwindigkeiten. Ähnlich wie bei Handrädern an konventionellen Maschinen kann damit eine direkte Übertragung manueller Bewegungen vorgenommen werden. Auch wird eine Regulierung mittels "Gespür" in der Hand ermöglicht. Es wird hiermit eine manuelle Prozeßregulierung ermöglicht, die Funktionen konventioneller Technik enthält und zugleich eine neue CNC-gerechte Weiterentwicklung darstellt. Eine ausführliche Darstellung von technischen Komponenten zur Prozeßregulierung findet sich in Kap. 3.3

## **(3) Verbindung von manueller Steuerung und NC-Steuerung**

Auch an CNC-Maschinen muß grundsätzlich die Option bestehen, ein Werkzeug vollständig direkt-manuell herzustellen. Ergänzend zu der hierfür erforderlichen Prozeßtransparenz und Instrumentierung sind hier Kopplungen zwischen manueller Steuerung und NC-Steuerung notwendig. Prototypisch für einen Einstieg in ein solches Konzept ist die Protokollierung von Override-Werten. Die handlungsorientierte, empirische Ermittlung von Technologiedaten kann damit unmittelbar für die Programmstellung genutzt werden. Darüber hinaus sind auf der Basis von Prozeßtransparenz und einer erweiterten manuellen Regulierung in Verbindung mit offenen Systemarchitekturen und objektorientierten Steuerungskonzepten neue Optionen zwischen unterschiedlichen Vorgehensweisen möglich und (zukünftig) anzustreben. Dies betrifft insbesondere die direkt-manuelle Steuerung der Maschinen, ohne oder mit einer Unterstützung durch Programmbausteine (z.B. beim Verfahren komplizierter Geometrien) sowie die direkt-handlungsbezogene Erstellung eines Programms oder/und Kombinationen zwischen einer beschreibenden und einer direkt handlungsbezogenen Programmerstellung. Die Trennung von Arbeitsplanung und Durchführung der Bearbeitung, wie sie für CNC-Steuerung bisher üblich ist, kann auf diese Weise aufgelöst werden. Eine ausführliche Darstellung eines solchen technischen Konzepts findet sich in Kap. 4.



#### **(4) Höhere Wirtschaftlichkeit durch CeA**

Die Realisierung und der praktische Einsatz der im Forschungsverbund CeA-entwickelten technischen Komponenten trägt in mehrfacher Weise zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Fertigung mit CNC-Werkzeugmaschinen bei. Zu nennen sind hier insbesondere: die Reduzierung von Kosten, die durch wiederholte Programmunterbrechungen und lange Einfahrzeiten, Stillstandszeiten, Material- und Maschinenschäden (Ausschuß, Werkzeugbruch u.ä.) sowie Reparatur bzw. Instandhaltung entstehen. Durch die direkte Erstellung von Programmen "vor Ort" entfallen kostenträchtige Aufwendungen für die Optimierung und ggf. Korrektur von Programmen. Des weiteren werden Reibungsverluste durch Umstellungs- und Anpassungsschwierigkeiten bei flexibler Produktion reduziert. Und schließlich ergeben sich direkte und indirekte kostenwirksame Effekte durch die Erhöhung der Qualität bzw. Sicherung von Qualitätsstandards und Vermeidung aufwendiger Nacharbeiten und Korrekturen. Eine ausführliche Diskussion sowie empirische Demonstration solcher ökonomischen Effekte finden sich in den Kapiteln 2.5 und 3.5.

#### **1.2.4 CeA - eine neue Perspektive für zukunftsweisende Innovationen**

Gemessen an der Zielsetzung einer möglichst vollständigen Automatisierung mag das im CeA-Forschungsverbund entwickelte technische Konzept zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit als Beschränkung oder gar Rückschritt in der technischen Entwicklung erscheinen. Doch es fragt sich, ob die Automatisierung ein hinreichendes Kriterium für die Beurteilung des technischen Fortschritts darstellt. Betrachtet man die technische Entwicklung als einen Prozeß, der vom einfachen Werkzeug über die Maschine bis hin zum sich selbst steuernden Automaten führt, sind technische Systeme, die - einmal in Gang gesetzt - von menschlichen Eingriffen unabhängig sind, das höchste und ausgereifteste Stadium technischer Entwicklung, an dem der Erfolg technischer Innovationen zu messen ist. Doch die Praxis ist weit differenzierter und vielfältiger. Es gibt zahlreiche Beispiele für technische Innovationen, die nicht auf das Ziel der Automatisierung gerichtet sind, aber dennoch einen technischen "Fortschritt" darstellen. Speziell Werkzeugmaschinen sind hierfür ein Beispiel.

#### **(1) Technischer Fortschritt ohne Automatisierung**

Seit den Anfängen der Industrialisierung erfolgten kontinuierliche technische Verbesserungen der Leistungsfähigkeit und Genauigkeit von Maschinen, ohne daß vom Prinzip der manuellen Steuerung grundsätzlich abgegangen wurde. Diese Entwicklung wurde auch dann weitergeführt, als Automaten entwickelt wurden; deren Anfänge gehen ebenfalls bereits in die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurück. Es kam damit aber keineswegs zu einer schrittweisen Überführung oder Annäherung von manuell gesteuerten Maschinen an den Automaten. Vielmehr entstanden zwei Richtungen in der technischen Entwicklung, in denen jeweils eigenstän-

dige, weiterführende Innovationen erfolgten. Erst mit der NC- und später der CNC-Technik wird diese Entwicklung zugunsten einer einseitigen Entscheidung für die Automatisierung abgebrochen. Manuell gesteuerte Maschinen werden von nun an nur mehr auf der Basis "konventioneller" Technik hergestellt; die Errungenschaften der Mikroelektronik werden demgegenüber nur für die Automatisierung genutzt. Diese Vereinseitigung ist auch einer der Gründe dafür, daß CNC-gesteuerte Maschinen keineswegs, so wie erwartet, sukzessive die konventionelle Technik ersetzen. Damit werden die technischen Potentiale und möglichen Verbesserungen in der Leistungsfähigkeit der Maschinen, die sich aus dem Einsatz von Mikroelektronik ergeben, nicht optimal genutzt. Entscheiden sich demgegenüber aber Anwender für den "neuesten Stand" der Technik, so müssen sie eine Automatisierungstechnik in Kauf nehmen, die in vielfachen Bereichen den praktischen Anforderungen nicht entspricht.

Anstelle einer einseitigen Konzentration auf Automatisierung und Programmsteuerung kommt es daher zukünftig darauf an, unterschiedliche Pfade der technischen Entwicklung gleichgewichtig weiterzuverfolgen. Erst auf dieser Basis können dann auch in der Praxis unterschiedliche Optionen für technische Konzepte, die unterschiedlichen Produktionsgegebenheiten Rechnung tragen, angeboten werden. Die Berücksichtigung erfahrungsgeleiteter Arbeit kann hier in unterschiedlicher Weise Eingang finden: als Ergänzung programmgesteuerter Maschinen bis hin zu primär manuell gesteuerten Maschinen mit "einfacher" Programmunterstützung. Wichtig werden aber vor allem technische Konzepte, in denen die manuelle Steuerung und die Programmsteuerung gleichgewichtig integriert sind. Es entsteht damit ein Maschinen- und Steuerungskonzept, das in der Praxis für unterschiedliche Produktionsformen und -erfordernisse einsetzbar ist.

## **(2) Vom Steuerungs- zum Fabrikkonzept**

Die Grundsätze erfahrungsgeleiteter Arbeit gelten für Steuerungskonzepte von Werkzeugmaschinen ebenso wie für die übergreifende Organisation von Produktions- und Fertigungsstrukturen bis hin zu Konstruktion und Entwicklung. Der Abbau zentralistisch-bürokratischer Betriebsstrukturen - wie er heute z.B. in den Konzepten der Lean Production gefordert wird - setzt eine Technik voraus, die anstelle der bisher verfolgten CIM-Konzepte nach den Grundsätzen einer "Computergestützten erfahrungsgeleiteten Arbeit" (CeA) gestaltet ist. Die Technisierung von Informations- und Kommunikationsprozessen und die Vernetzung betrieblicher Teilprozesse darf nicht auf Kosten des direkten Informationsaustauschs z.B. zwischen Werkstatt und Konstruktion oder dem Werker an den Maschinen und der Produktionsplanung gehen. Technische Medien sind so zu gestalten, daß der direkte Informationsaustausch erhalten, gestützt, erleichtert und effektiviert wird. Dies verlangt nicht nur die Entscheidung zur Überwindung (und ggf. Zurücknahme) zentralistisch ausgelegter Planungs- und Automatisierungskonzepte; es erfordert ebenso neue technische und organisatorische Innovationen, durch die ein erfahrungsgeleitetes Arbeiten in neuer Weise ermöglicht und unterstützt wird. In dem vom

BMFT geförderten Forschungsverbund "Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit (CeA)" wurden - ergänzend zur Entwicklung eines neuen Steuerungs- und Maschinenkonzepts - auch Ergebnisse und neue Anstöße für betriebliche Produktions- und Fertigungsplanung sowie das Zusammenspiel von Konstruktion und Fertigung erarbeitet. Eine Diskussion zukünftiger technischer Entwicklungen auf der Basis der im Forschungsverbund CeA erarbeiteten Ergebnisse erfolgt in den Kapiteln 5 und 6.

## 1.3 Literatur zu Kapitel 1

- Ammon, R.: Gleiche Intelligenz für alle. NC-Fertigung (1988) 6.
- Ammon, R.: Erfahrung und Probleme beim Einsatz der Werkstattprogrammierung. Manuskript, VDI-Bildungswerk. Düsseldorf 1986.
- Blum, U.: Technische und personelle Möglichkeiten und Grenzen der Werkstattprogrammierung. In: Werkstatt und Betrieb 120 (1987) 4, S. 255-258.
- Blum, U.; Hartmann, E.A.: Facharbeiterorientierte CNC-Steuerungs- und Vernetzungskonzepte. In: Werkstatt und Betrieb 121 (1988) 6, S. 441-445.
- Böhle, F.; Rose, H.: Erfahrungsgeleitete Arbeit bei der Werkstattprogrammierung - Perspektiven für Programmierverfahren und Steuerungstechniken. In: Rose, H. (Hg.): Programmieren in der Werkstatt. Frankfurt/M.: Campus Verlag 1990.
- Böhle, F.; Milkau, B.: Vom Handrad zum Bildschirm. Eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozeß. Frankfurt/M.: Campus Verlag 1988.
- Carbon, M.; Heisig, P.: Die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine - Konzepte zur Erhöhung der Prozeßtransparenz durch konstruktive Veränderungen. In: Werkzeugmaschinen-Handbuch, Landsberg: Verlag Moderne Industrie 1992a, S. 28-32.
- Diekmann, Th.; Klotz, U.: Veränderung der Organisation des Arbeitsablaufs bei Werkzeugmaschinen durch den Einsatz von Mikrocomputern. Universität Hamburg Forschungsgruppe Prozeßdatenverarbeitung. Hamburg: Universität. Forschungsbericht 1980. BMFT-Förderprogramm Humanisierung des Arbeitslebens DFVLR-HdA, Identifikation HA 80-050.
- Dunkhorst, S.; Holub, R.; Martin, H.; Martin, P.: Qualifikation und Eignung - Merkmale an CNC-Steuerungen für die Werkstattprogrammierung. In: CIM-Praxis, 14 (1987) 1, S. 36-45.
- Friedrich, G. (Hg.): Automation. Risiko und Chance. Beiträge zur zweiten internationalen Arbeitstagung der IG Metall für die Bundesrepublik Deutschland über Automatisierung und technischen Fortschritt. 2 Bde. Frankfurt/M.: EVA 1965.
- Hirsch, J.: Wissenschaftlich-technischer Fortschritt und politisches System. Frankfurt/M.: Suhrkamp Verlag 1970.
- Institut für Arbeitswissenschaft (IfA) der Gesamthochschule Kassel (Hg.): Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung. Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1992.

- Kern, H.; Schumann, M.: Das Ende der Arbeitsteilung? Rationalisierung in der industriellen Produktion: Bestandsaufnahme, Trendbestimmung. München: Beck Verlag 1984.
- Kern, H.; Schumann, M.: Industriearbeit und Arbeiterbewußtsein. Frankfurt/M.: EVA 1970.
- Kochan, D. (Hg.): Werkstattorientierte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung. Ergebnisse des gleichnamigen Forschungsverbundvorhabens. Fortschrittsberichte Reihe 2 Nr. 285. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.
- Lay, G.; Boffo, M.; Lemmermeier, L.: Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von CNC-Drehmaschinen unter organisatorischen Gesichtspunkten. In: Forschungsbericht KfK-PFT 72. Karlsruhe 1983.
- Lennartz, K.D.; Rose, H.: Prozeßnahes Arbeiten mit CNC-Werkzeugmaschinen. In: Zwf 88 (1993) 2, S. 75-77.
- Lennartz, K. D.; Rose, H.: Flexibel fertigen auf der Basis erfahrungsgeleiteter Arbeit - Neue technische Optionen für mehr Effizienz der NC-Verfahrenskette. In: VDI-Z 134 (1992) 5, S. 46-54.
- Martin, H.; Rose, H. (Hg.): Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit in der Produktion (CeA) - Aufzeigen von technischen, organisatorischen und qualifikatorischen Gestaltungsfeldern zur Nutzung erfahrungsgeleiteter Arbeit bei der Entwicklung und beim Einsatz von CNC-Techniken durch einen Forschungsverbund. Kassel: Universität. Juli 1988. Forschungsbericht. BMFT-Förderprogramm Humanisierung des Arbeitslebens DFVLR-HdA, Identifikation 01 HH 348.
- Martin, P.: Entwicklung und Anwendung von CNC-Werkzeugmaschinensteuerungen unter besonderer Berücksichtigung der Werkstattprogrammierung. Kontaktstelle für wissenschaftliche, künstlerische und berufliche Weiterbildung (Hrsg.): Kooperationsmaterialien 9 der DGB-Kooperationsstelle. Kassel: Eigenverlag 1984.
- Noble, D.: Maschinen gegen Menschen. Die Entwicklung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen. Stuttgart: Wechselwirkung 1979.
- Raether, Ch.; Ziegler, J.: Fortgeschrittene Mensch-Maschine-Kommunikation: Neue Programmierungsumgebung der CNC-Maschine. FhG-Bericht 1. 86.
- REFA Das Refa-Buch. Bd. 1 Arbeitsgestaltung. München: Carl Hanser Verlag 1961.
- RKW (Hg.): Wirtschaftliche und soziale Aspekte des technischen Wandels in der Bundesrepublik Deutschland. Frankfurt/M.: Eigenverlag 1970.
- Rose, H.: Erfahrungsgeleitete Arbeit als Innovationskonzept für Arbeitsgestaltung und Technikentwicklung. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 46 (1992) 3, S. 145-149.
- Rose, H.: Bedeutung des Erfahrungswissens für die Bedienung von CNC-Maschinen. In: Zwf 86 (1991) 17, S. 45-48.
- Warnecke, H. J.: Innovative Produktionsstruktur. FTK '91 Fertigungstechnisches Kolloquium. Berlin 1991, S. 13-19.
- Wegner, Th.: Über die Hand und das durch Technik Abhandengekommene. In: Frei, F.; Udris, I. (Hg.): Das Bild der Arbeit. Bern: Huber 1990, S. 71-90.



## 2 Grundlagen

### 2.1 Ausgangspunkt und sozialwissenschaftliche Grundlagen des CeA-Ansatzes

Fritz Böhle, ISF München

Im Mittelpunkt des CeA-Forschungsverbunds steht das Erfahrungswissen von Facharbeitern und seine technische Unterstützung. Dies stellt sowohl in der betrieblichen Praxis als auch in wissenschaftlichen Untersuchungen ein völlig neuartiges Phänom dar. Noch ist ein Verständnis von Erfahrungswissen vorherrschend, bei dem wichtige Aspekte und Leistungen von qualifizierten Fachkräften nicht oder nur ungenügend gesehen werden. Im Zentrum des CeA-Forschungsverbunds steht daher nicht die bloße Thematisierung oder gar "Entdeckung", sondern ein neues Verständnis von Erfahrung und Erfahrungswissen. Im folgenden werden zunächst die Anstöße und konzeptuellen Grundlagen dieser neuen Sichtweise dargestellt.

#### 2.1.1 Bedarf an qualifizierten Fachkräften bei fortschreitender Technisierung

Die Metallbearbeitung und speziell der Maschinenbau zählt nicht zu den klassischen Bereichen der Massen- und Serienfertigung. Dennoch wurden auch hier seit den 20er Jahren und verstärkt nach dem 2. Weltkrieg tayloristisch geprägte Formen der Rationalisierung angewandt (Schulz-Wild 1986; Köhler und Grüner 1989). Ein wesentliches Ziel ist, durch arbeitsorganisatorische Maßnahmen die Intensität der Arbeitsleistung und Produktivität zu steigern sowie anstelle qualifizierter Facharbeiter vermehrt angelernte Arbeitskräfte einzusetzen. Beeinflußt wird dies u.a. durch Engpässe bei der Rekrutierung beruflich ausgebildeter Facharbeiter (Weltz u.a. 1974). Daneben finden sich auch bereits vor der Einführung der NC- und CNC-Technik Bestrebungen zur Automatisierung (z.B. Drehautomaten); sie bleiben aber auf eingegrenzte Bereiche der eigentlichen "Mas-

senfertigung" - wie z.B. der Schraubenfertigung oder Teilefertigung in der Automobilindustrie - beschränkt (Ruby 1993, S. 3 ff.). Bei der Arbeitsorganisation und dem Arbeitskräfteeinsatz kommt es in diesen Bereichen zu einer Aufspaltung zwischen der anspruchsvolleren Tätigkeit des "Einrichters" einerseits und der gering qualifizierten Tätigkeit der Automatenbedienung und Kontrolle andererseits, was ebenfalls den Prinzipien tayloristischer Arbeitsorganisation entspricht (Braverman 1977, S. 170; Böhle 1993, S. 57).

Im Unterschied zu den Domänen der Serienfertigung wie der Elektro- oder Automobilindustrie blieben jedoch in Bereichen, die der eigentlichen Produktion vorgelagert sind (z.B. dem Werkzeugbau) sowie in weiten Bereichen des Maschinenbaus, die sich durch einen starken Kundenbezug auszeichnen, handwerklich geprägte Facharbeitertätigkeiten nicht nur bestehen, sondern wurden auch auf dem Hintergrund allgemeiner ökonomischer Prosperität ausgeweitet (Seltz und Hildebrandt 1985; v. Freyberg 1985). Anstelle einer Reduzierung des Bedarfs an Facharbeitern wurde in diesen Bereichen eher ein "Facharbeitermangel" beklagt oder zumindest als eine drohende Gefahr prognostiziert (Weltz u.a. 1974). Beschränkt man jedoch Prinzipien tayloristischer Rationalisierung nicht nur auf die unmittelbare Arbeitstätigkeit (Arbeitsverrichtungen), sondern berücksichtigt auch die übergreifende betriebliche (Gesamt-)Organisation, so lassen sich aber auch in solchen Produktionsbereichen - insbesondere seit Anfang der 70er Jahre - tayloristisch geprägte Formen der Rationalisierung nachweisen. Beispiele hierfür sind die Tendenz zur Einführung hierarchisch strukturierter Betriebs- und Arbeitsorganisationen, die auf eine Aufspaltung in dispositive und ausführende Funktionen sowie auf Arbeitsbereiche und Abteilungen abzielt, die Verwendung vielfältiger Methoden und Verfahren zur Planung, Normierung und Kontrolle des Arbeitsprozesses sowie die Anwendung und Ausweitung von Systemen der Leistungsentlohnung (Hirsch-Kreinsen u.a. 1990, S. 9 ff., 79 ff.).

Auf diesem Hintergrund wird der Einsatz von NC- und später CNC-Maschinen primär als eine Möglichkeit gesehen, die Automatisierung weiterzutreiben und die Abhängigkeit von qualifizierten Facharbeitern zu verringern. Was auf der Basis konventioneller Technik mit tayloristischen Formen der Arbeitsorganisation allein nicht zu bewerkstelligen war, erschien nun mit Hilfe technischer Innovationen realisierbar zu werden. Es entstanden sowohl Visionen von der "mannlosen Fabrik" als auch von Industriearbeit in Gestalt des "Knöpfchendrückers". Kenntnisse über Eigenschaften, Material und Maschinen ebenso wie handwerkliche Fertigkeiten die, selbst bei hoch arbeitsteilig organisierter Arbeit, bislang erforderlich waren, schienen nun für eine Tätigkeit in der Metallbearbeitung nicht mehr notwendig.

Solche Annahmen und Prognosen wurden in der betrieblichen Praxis jedoch nicht bestätigt. Diese Entwicklung deutete sich bereits beim Einsatz von NC-gesteuerten Maschinen an (Schultz-Wild und Weltz 1973) und zeigte sich insbesondere beim Einsatz von CNC-gesteuerten Maschinen: In der traditionell gering arbeitsteilig organisierten Fertigung besteht bei den Betrieben auch weiterhin ein Interesse am Einsatz von Facharbeitern; in der traditionell hoch arbeitsteilig organisierten Fertigung



zeigt sich ein neues Interesse der Betriebe am Einsatz qualifizierter Arbeitskräfte. Auch wenn hier "angelernte" Arbeitskräfte an CNC-Maschinen beschäftigt sind, handelt es sich um Arbeitskräfte mit mehrjähriger beruflicher Praxis und facharbeiterähnlichen Qualifikationen (Hirsch-Kreinsen u.a. 1990, S. 165 ff.; Kern und Schumann 1984, S. 137 ff.; Bergmann u.a. 1986, S. 178 ff.).

Charakteristisch für die hier beschriebenen Entwicklungen sind Aussagen von Personal- und Produktionsleitern wie: "Den Knöpfchendrucker finden sie bei uns nicht; da müssen sie dorthin gehen, wo in großen Serien gefertigt wird, die Automobilindustrie, dort finden sie ihn vielleicht, in unserem Betrieb aber nicht." Solche Aussagen beziehen sich auf die Haupteinsatzbereiche von CNC-gesteuerten Maschinen. Dies sind insbesondere Produktionsbereiche, bei denen bislang eine Automatisierung nicht möglich war, vor allem wegen geringen Stückzahlen, großer Produktpalette und häufigem Wechsel der Bearbeitungsprozesse an den einzelnen Maschinen. Insbesondere trifft dies für die traditionellen Bereiche der gering arbeitsteilig organisierten Fertigung zu, aber auch für die traditionell hoch arbeitsteilig organisierte Fertigung. Veränderungen auf den Absatzmärkten seit Anfang der 80er Jahre verschärften die Anforderungen an eine flexible Produktion mit der Folge, daß auch in den traditionellen Bereichen der Serienproduktion eher ein zu- als ein abnehmender Bedarf an qualifizierten Fachkräften besteht (Böhle 1993, S. 61).

Des weiteren wird in einer großen Anzahl von Betrieben die Programmierung von CNC-gesteuerten Maschinen nicht extern in der Arbeitsvorbereitung durchgeführt, sondern an den Maschinen und in der Werkstatt. Teilweise erfolgte zunächst eine externe Programmierung, die dann aber wieder aufgegeben und rückgängig gemacht wurde. Nach einer Betriebs-erhebung von 1986/87 waren es z.B. 70 % der CNC-Maschinen einsetzenden Betriebe in der Investitionsgüter-Industrie, die Programme in der Werkstatt erstellen lassen (Nuber und Schultz-Wild 1990, S. 163). Diese Form der Arbeitsorganisation war in der CNC-Technik, wie sie sich beeinflußt von Entwicklungen in den USA durchgesetzt hat, zunächst nicht vorgesehen (Hirsch-Kreinsen 1993, S. 71 ff.); sie erweist sich aber in der betrieblichen Praxis - insbesondere in Klein- und Mittelbetrieben sowie bei Einzelfertigung und kleineren Serien - für die Betriebe als geeigneter und effizienter (Lay u.a. 1983; Blum 1987; Böhle und Rose 1990 S. 19 ff.; Bolte 1993). Solche Formen der Betriebs- und Arbeitsorganisation sind auch durch die Weiterentwicklung der in der Werkstatt einzusetzenden Programmierverfahren erleichtert und unterstützt worden (Dunkhorst u.a. 1987; Blum und Hartmann 1988 ; Hoffmann und Martin 1990; Liese 1989; Martin u.a. 1991). Aber auch dann, wenn die Programmierung nicht an den Maschinen erfolgt, besteht ein Interesse der Betriebe am Einsatz von Facharbeitern. Nicht der "Knöpfchendrucker", sondern der "qualifizierte Maschinenführer" ist hier gefragt (Bergmann u.a. 1986, S. 78 ff.; Böhle und Milkau, 1988, S. 86 ff; Brödner 1989, S. 17).



### 2.1.2 Erfahrungswissen - eine wichtige, bisher unterschätzte Qualifikation

Fragt man in der betrieblichen Praxis nach den Gründen für den Einsatz von Facharbeitern, so erhält man sehr unterschiedliche Antworten. Betont werden neben fachlichen Anforderungen vor allem sog. soziale Qualifikationen, wie etwa Zuverlässigkeit, Verantwortungsbereitschaft oder Souveränität und Sicherheit bei der Ausführung der Arbeitsaufgaben. In dieser Sicht sind qualifizierte Arbeitskräfte an den Maschinen deshalb wichtig, weil Fehlhandlungen, Unaufmerksamkeit und Gleichgültigkeit bei den hohen Kapitalkosten der Maschinen und durch die zunehmende Vernetzung einzelner betrieblicher Teilprozesse zu sehr hohen Kosten führen können. Qualifizierte Arbeitskräfte sind hier in erster Linie eine Garantie dafür, daß keine "Bedienungsfehler" gemacht und die Maschinen sachgemäß behandelt werden - auch wenn im konkreten Fall die Anforderungen vergleichsweise gering sind (bzw. wären). Vom Werkstattpersonal wird darüber hinaus auf besondere Anforderungen an die fachlichen Kenntnisse der Arbeitskräfte hingewiesen; dabei wird vor allem die Bedeutung des Erfahrungswissens und der praktischen Erfahrung, über die Facharbeiter verfügen, betont (Kern und Schumann 1984, S. 137 ff; Pries u.a. 1990, S. 108 ff.; Rose 1991, S. 20 ff.).

Das Erfahrungswissen ist weder in der betrieblichen Praxis noch in wissenschaftlichen Untersuchungen ein neuartiges Phänomen. Doch ist ein Verständnis von Erfahrungswissen vorherrschend, bei dem wichtige Leistungen qualifizierter Fachkräfte nicht oder nur sehr ungenügend berücksichtigt werden. Dies erweist sich angesichts fortschreitender Technisierung und Automatisierung als ein zentrales Defizit. Die Unterschätzung des Erfahrungswissens führt zur Überschätzung der Technik und der Möglichkeiten der Automatisierung. Da die Leistungen des Erfahrungswissens und die Voraussetzungen, auf denen Erfahrungswissen beruht, nicht ausreichend erkannt und berücksichtigt werden, kommt es bei der Arbeit mit CNC-Maschinen - auch dann, wenn hierfür qualifizierte Fachkräfte eingesetzt werden - zu einer Beeinträchtigung der von den Arbeitskräften geforderten Leistungen. Wie empirische Untersuchungen zeigen, wird dieses Problem durch die bisherigen Bestrebungen zu einer "facharbeitergerechten" Auslegung von Programmierverfahren allein keineswegs beseitigt, teilweise ist sogar, trotz der Zielsetzung, qualifizierte Fachkräfte zu unterstützen, eher das Gegenteil der Fall, z.B. bei "Vereinfachung" durch Benutzerführung, Vorgabe von Schnittwerten u.ä. (Blum 1987; Böhle und Rose 1990). So bieten auch Erfahrungen mit sog. "CIM-Ruinen" oder der Abschied von der Vision einer "mannlosen Fabrik" und Prognosen einer "Rückkehr des Menschen in die Produktion" noch keineswegs die Gewähr dafür, daß eine Technik vorhanden und entwickelt ist, die einen effizienten Einsatz qualifizierter Fachkräfte ermöglicht. Soweit hier Alternativen in der Maschinen- und Steuerungstechnik zur Diskussion stehen, bewegt sich diese zumeist in dem engen Korridor zwischen einem "Mehr oder Weniger" an CNC-Technik. In der Praxis zeigt sich dies u.a. in dem notgedrungenen Festhalten an der konventionellen

Technik sowie in Versuchen, konventionelle Techniken weiterzufahren und Elemente mit CNC-Technik aufzurüsten (siehe hierzu ausführlicher auch Kapitel 3.3).

Demgegenüber war es ein Ausgangspunkt im CeA-Forschungsverbund, bisherige Leistungen der CNC-Technik sowohl in produktions-technischer als auch in ergonomischer Hinsicht zu nutzen und auf dieser Basis neue Lösungen für eine Unterstützung des Arbeitshandelns von Facharbeitern zu entwickeln (Martin und Rose 1992). Zu berücksichtigen war somit - im Vergleich zu konventioneller Technik - die höhere Leistungsfähigkeit (Geschwindigkeit) und Genauigkeit von CNC-Maschinen, ebenso wie die Sicherung gegen Unfallgefahren durch Verkapselung oder der Wegfall physischer Kraftanstrengungen und unbequemer Körperhaltungen wie sie bei der Arbeit mit konventioneller Technik vielfach dokumentiert sind. Ein solcher Ansatz erfordert, nicht nur unter Rückgriff auf bisher Bekanntes, sondern grundsätzlicher, der Frage nachzugehen, was "werkstatt- und facharbeitergerecht" ist und welche Veränderung sich hierbei bei neuen technischen Gegebenheiten und Produktionsanforderungen ergeben. Die im CeA-Forschungsverbund entwickelten technischen Komponenten sind einem solchen Ansatz verpflichtet. Ausgangspunkt und Grundlage hierfür ist ein neues und erweitertes Verständnis des "Erfahrungswissens" und seiner technischen, arbeitsorganisatorischen und qualifikatorischen Voraussetzungen. Bevor dies näher angeführt wird, seien - zum besseren Verständnis dieses Ansatzes und seiner Konsequenzen - zunächst einige Merkmale des bisher vorherrschenden Verständnisses von Erfahrungswissen und seiner Hintergründe etwas näher erläutert.

### **2.1.3 Erfahrungswissen - bisher vorherrschende Sichtweise**

Nach einer weitverbreiteten Vorstellung gilt eine Arbeit als qualifiziert, je mehr theoretische Kenntnisse und abstraktes Denken gefordert werden. Wissen ist hier gleichbedeutend mit formalisierbarem und kategorialem Wissen und Kenntnissen; mental-geistige Prozesse sind gleichbedeutend mit intellektuell-verstandesmäßigen und primär analytischen Formen des Denkens. Hiermit eng verbunden ist eine Trennung zwischen Planung und Ausführung nach dem Grundsatz "erst denken, dann handeln". Planende und dispositive Tätigkeiten gelten dabei als grundsätzlich anspruchsvoller und höherwertiger als praktisch ausführende Tätigkeiten. Die Unterscheidung von "geistiger" gegenüber "körperlich-praktischer" ausführender Arbeit und die Beurteilung qualifizierter Arbeit nach den Anteilen planender-dispositiver Tätigkeiten beruht auf solchen Kriterien. Sinnliche Wahrnehmung und Erfahrungen spielen bei einer solchen Betrachtung von Qualifikationsanforderungen nur eine eher untergeordnete Rolle. Sie haben sich darauf zu richten (zu beschränken), möglichst exakt und objektiv Informationen aus der Umwelt aufzunehmen (zu registrieren) sowie Handlungspläne und Entscheidungen zuverlässig auszuführen (der

Begriff und das Verständnis von "sensomotorischen Fertigkeiten" ist hierfür exemplarisch). Eine exakte und objektive Wahrnehmung von Informationen ist in dieser Sicht um so mehr gewährleistet, als die sinnliche Wahrnehmung vom subjektiven Empfinden abgelöst und der verstandesmäßigen Kontrolle und Anleitung untergeordnet wird. Dies gelingt um so mehr, als die einzelnen Sinne - nach dem Modell technischer Instrumente - wechselseitig voneinander isoliert und spezialisiert werden. Des weiteren wird von einer distanzierten, möglichst affektneutralen Beziehung zu Arbeitsgegenständen ausgegangen.

Leitbild einer solchen Beurteilung von Qualifikationsanforderungen und des Arbeitshandelns ist ein zielgerichtet-planmäßiges, rationales Handeln. Da die Bezeichnung "planmäßig oder zielorientiert" jedoch unterstellt, daß andere Handlungsweisen "plan- und ziellos" sind, und der Begriff "rational" häufig auch im Sinne von "vernünftig" u.ä. verstanden wird, halten wir es für geeigneter, ein solches Konzept des Arbeitshandelns mit dem neutraleren Begriff "objektivierendes" Handeln zu bezeichnen. Damit wird ein wichtiger Sachverhalt dieser Sichtweise des Arbeitshandelns unterstrichen: Obwohl gerade bei qualifizierter Tätigkeit einerseits Verantwortung, Eigeninitiative und Engagement besonders betont werden, gilt es andererseits, sog. subjektive Faktoren - wie Gefühle und Empfindungen oder auch persönliche Erlebnisse und Erfahrungen - weitgehend auszuschalten. Sie werden zwar für die individuelle Motivation und subjektive Befriedigung durchaus als wichtig angesehen; für den "richtigen Umgang" mit technischen Arbeitsmitteln und eine effiziente, zielgerichtete Bewältigung von Arbeitsaufgaben werden sie jedoch eher als störend und als Ursache für Fehler eingeschätzt. Des weiteren werden die sinnliche Wahrnehmung und das Erfahrungswissen zwar nicht vernachlässigt, doch geraten sie (nur) sehr eingegrenzt ins Blickfeld. Berücksichtigt werden nur solche sinnlichen Wahrnehmungen und Erfahrungen, die "objektiv" meßbar und überprüfbar sind und durch die ein zielgerichtetes planmäßiges Handeln angestoßen oder deren Erfolge überprüft werden (Schneider 1987). Erfahrung umfaßt hier in erster Linie das "Sammeln" von Erfahrungen im Sinne der praktischen Prüfung von Handlungsplänen, deren Korrektur, Verbesserung und Ausdifferenzierung (Rückkopplung der Ergebnisse des praktischen Handelns).

Das Erfahrungswissen besteht daher in dieser Sicht vor allem aus im Berufsverlauf "angesammelten" Kenntnissen sowie Fertigkeiten ("Erfahrungsschatz"). Es bezieht sich auf die Vergangenheit bzw. auf zurückliegende Ereignisse, die Grundlage für die Einschätzung und Bewältigung aktueller Aufgaben sind. Doch gerade bei neuen Situationen und Anforderungen erscheint der Wert eines solchen Erfahrungswissens recht fragwürdig. Bisherige Erfahrungen können zwar die Bewältigung neuer Situationen stützen, ebenso aber auch zum Hindernis werden, wenn das "Neue" vom Horizont des bisher gewohnten und bekannten abweicht. Nicht zu Unrecht hat Erfahrungswissen - so gesehen - einen eher "konservativen" Charakter. Des weiteren wird aus der Sicht objektivierenden Handelns davon ausgegangen, daß die sinnliche Wahrnehmung ohne intellektuelle, verstandesmäßige Lenkung und Deutung auf bloße physiologische Sinneseindrücke beschränkt ist. Die sinnliche Wahrnehmung

kann demnach - ohne intellektuell-verstandesmäßige Ergänzung - zwar Gefühle und subjektives Erleben auslösen; in ihren "kognitiven Leistungen" bleibt sie jedoch "blind" bzw. führt zu subjektiven Verzerrungen der "objektiven" Gegebenheiten. Hieraus leitet sich ein Verständnis von Erfahrungswissen ab, nachdem dieses primär als eine Vorstufe zu einem theoretisch-wissenschaftlich fundierten (richtigem) Wissen eingeschätzt wird. In diesem Zusammenhang wird Erfahrungswissen oft mit "Alltagswissen" oder "praktischen Handlungsregeln" gleichgesetzt. Es kann nach dieser Auffassung zwar praktisch nützlich, jedoch grundsätzlich durch ein "wissenschaftliches" Wissen verbessert, korrigiert wie auch ersetzt werden. Ferner beruht hierauf ein Verständnis von Erfahrungswissen und Erfahrung im Sinne der primär praktischen Aus- und Durchführung allgemeiner Ziele und Planungen sowie der Routinisierung und Habitualisierung von Handlungsvollzügen. In dieser Sicht wird Erfahrungswissen auch oft von einem Planungswissen unterschieden und mit Ausführungs- bzw. Bedienungswissen gleichgesetzt.

Obwohl somit in der wissenschaftlichen wie auch praktischen Diskussion mit dem Begriff Erfahrungswissen zwar teilweise unterschiedliche Phänomene bezeichnet werden, besteht jedoch zumindest in zwei Punkten weitgehende Übereinstimmung: in der Skepsis gegenüber den "kognitiven" Leistungen, sinnlicher Wahrnehmung und sog. subjektiver Faktoren (Gefühl und Empfindungen) einerseits und der - im Vergleich zu wissenschaftlich gewonnenem Wissen - Betrachtung des Erfahrungswissens als eine eher niedrige und untergeordnete Form des Wissens andererseits (Böhme 1980, S. 27 ff.).

#### **2.1.4 Subjektivierendes Handeln - eine neue Sichtweise des Erfahrungswissens und seiner Grundlagen**

Fragt man in der betrieblichen Praxis genauer danach, was mit Erfahrungswissen oder praktischer Erfahrung gemeint ist, so stößt man auf Phänomene wie: ein Gefühl für Material und Maschinen, die Orientierung am Geräusch der Maschinen und Bearbeitungsprozessen, ein blitzschnelles Erfassen von Prozeßzuständen und komplexen Informationen, ohne langes Nachdenken u.ä. Ein gemeinsames Kennzeichen solcher Phänomene ist, daß sie sich nicht ohne weiteres in die Kriterien für ein planmäßig-rationales Handeln einfügen: In der neueren arbeitswissenschaftlichen Diskussion wird hier z.B. von einem "intuitiv-improvisierenden" Handeln im Unterschied zu einem "analytisch-planenden" Vorgehen gesprochen (Volpert 1992, S. 53 f.). Eine solche Sichtweise eröffnet ein Verständnis für das sog. "Erfahrungswissen", bei dem dieses nicht von vornherein nur unter den Kategorien eines "objektivierenden Handelns" beurteilt und eingeordnet wird. In weiterführenden Untersuchungen hierzu wurde das Konzept "subjektivierenden Handelns" entwickelt (Böhle und Milkau 1988, S. 25 ff.). Dieses Konzept richtet sich darauf, aufzuzeigen und zu begründen, in welcher Weise sog. nicht-objektivierbare und nicht-rationale Formen sinnlicher Wahrnehmung, mentaler Prozesse und Vorgehenswei-

sen - wie z.B. gefühlsmäßige sinnliche Wahrnehmungen und Empfindungen, intuitiv-assoziatives Denken u.ä. - in einem systematischen Zusammenhang stehen und eine spezifische Handlungslogik konstituieren. Die Arbeiten im CeA-Forschungsverbund knüpften an dieses Konzept an und haben es sowohl konzeptuell als auch empirisch weiterentwickelt.

Charakteristisch für die mit dem Konzept "subjektivierenden Handelns" erfaßten Formen des Arbeitshandelns sind demnach im Unterschied zu einem "objektivierenden Handeln":

- Eine komplexe sinnliche Wahrnehmung, die sich über mehrere Sinne und körperliche Bewegung vollzieht und die vom subjektiven Empfinden nicht abgelöst, sondern hiermit eng verbunden ist. Sie richtet sich nicht nur auf exakt und eindeutig definierte und meßbare Eigenschaften, sondern ebenso auf eher diffuse und vielschichtige Informationsquellen; dabei werden sinnliche Wahrnehmungen in körperbezogene Empfindungen umgesetzt und in dieser Weise interpretiert. Typisch hierfür ist z.B. die Bezeichnung einer Farbe als "warm", eines Geräusches als "schmerzhaft" sowie die gedächtnismäßige Speicherung von Bewegungs- und Handlungsabläufen. Des weiteren besteht eine wichtige "kognitive" Leistung sinnlicher Wahrnehmung in der Fähigkeit zu (sinnlichen) Abstraktionen und Strukturierung - eine Leistung, die sich als Intelligenz der Sinne bezeichnen läßt (Arnheim 1988). Charakteristisch hierfür ist auch die Verknüpfung zwischen dem, was aktuell wahrgenommen wird mit Vorstellungen über aktuell nicht wahrnehmbare Gegebenheiten.
- Eine solche sinnliche Wahrnehmung ist verbunden mit wahrnehmungs- und verhaltensnahen Formen menschlichen Denkens. Eigenschaften konkreter Gegebenheiten und Ereignisse werden als Bild wie auch als Bewegungsablauf und akustische Vorgänge im Gedächtnis behalten. Auf diese Weise wird z.B. durch ein bestimmtes Ereignis eine weitreichende Assoziationskette ausgelöst. Sie wird nicht bewußt gesteuert, sondern läuft ab durch konkrete assoziative Verknüpfungen. Diese sind nicht beliebig, sondern erhalten ihre Systematik aus ihrer Gegenstands- und Erlebnisbezogenheit - im Unterschied zu formal-logischen Regeln. Hierzu gehört auch der Vergleich einer aktuellen Situation mit bereits früher schon Erlebtem. Doch handelt es sich hier nicht um eine stereotype Übertragung früherer Erfahrungen; vielmehr wird eine aktuelle Situation mit vergangenen Ereignissen "verglichen" (Dreyfus und Dreyfus 1988), wobei unterschiedliche, frühere Ereignisse herangeholt, übereinander gelegt, verdichtet werden. Gefühl und ein subjektives Involvement sind hierbei nicht ausgeschlossen, sondern wichtige Bestandteile.
- Wahrnehmen und Erkennen beruht auf der subjektiven "Nähe" und einer sympathetischen Verbundenheit mit der Umwelt. Anstelle einer affektneutralen Distanz zwischen "Subjekt" und "Objekt" (wie beim objektivierenden Handeln) wird eine Einheit hergestellt und von Gemeinsamkeiten ausgegangen. Empathie ist dabei eine menschliche Fähigkeit, die sich nicht nur auf den Umgang mit Personen, sondern auch auf Ge-



genständliches richten kann und sich u.a. in einem identifikatorischen Nachvollzug von Bewegungsabläufen und Gestalten ausdrückt. Wahrnehmen und Erkennen vollzieht sich hier also nicht primär über die distanzierte "Analyse", sondern primär über den Weg der Transformation "äußerer" Gegebenheiten in körperlich sinnliche und gefühlsmäßige Erfahrungen.

- Prozesse der Wahrnehmung und Interpretation sind dabei eingebunden in praktisches Handeln, bei dem weder einseitig (aktiv) agiert noch (passiv) reagiert wird, sondern das durch eine Gleichzeitigkeit von Aktion und Reaktion, Wirkung und Rückwirkung geprägt ist. Dem entsprechen Vorgehensweisen, bei denen die "Planung" und "Ausführung" von Handlungsvollzügen nicht getrennt, sondern unmittelbar miteinander verschränkt sind. Charakteristisch sind Arbeitsweise, die sich als aktiv-reaktiv bzw. dialogisch-explorativ bezeichnen lassen.

Empirische Analysen, die hierzu vor und während der CeA-Untersuchungen durchgeführt wurden, zeigten, daß bei der Arbeit mit konventionellen Werkzeugmaschinen ein "subjektivierendes Handeln" eine zentrale Rolle für die Bewältigung von Arbeitsaufgaben spielt. Exemplarisch hierfür sind Arbeitspraktiken wie die Orientierung am Geräusch von Bearbeitungsvorgängen, Farbveränderungen beim Spanfluß u.ä., eine persönliche intime Beziehung zur Maschine, gefühlsmäßige Einschätzungen und Beurteilungen sowie ein exploratives Schritt-für-Schritt-Vorgehen bei der Planung und Durchführung von Bearbeitungsprozessen (Böhle und Milkau 1988; Martin und Rose 1992).

Auf der Grundlage der Konzepte "objektivierenden Handelns" liegt die Annahme nahe, daß solche Arbeitsweisen und Arbeitspraktiken bei der Arbeit mit CNC-Maschinen zunehmend unzulänglich werden und neue Anforderungen an die Qualifikation vor allem in den der Fertigung vorgelagerten Bereichen der Planung und Programmerstellung entstehen. Gegenüber der Arbeit mit konventioneller Technik verlagern sich demzufolge die Anforderungen auf theoretisch fundiertes Fachwissen und auf die Fähigkeit zu analytischem und formalem Denken, wohingegen handwerklich-praktische Fertigkeiten an Bedeutung verlieren. Demgegenüber wiesen empirische Untersuchungen jedoch auf einen anderen Verlauf der Entwicklung hin. Ausgangspunkt der Arbeiten im CeA-Forschungsverbund waren Befunde, die zeigten, daß einerseits zwar neue Anforderungen an Fachwissen und abstraktes Denken entstehen, andererseits aber keineswegs das subjektivierende Arbeitshandeln qualifizierter Fachkräfte an Bedeutung verliert; Arbeitspraktiken, wie sie bei konventioneller Technik zur Anwendung kommen, werden auch bei der Arbeit mit CNC-Maschinen angewandt und in neuer Weise entwickelt. Das subjektivierende Arbeitshandeln erwies sich hier vor allem beim Optimieren der Programme und Prozeßüberwachung als eine wichtige Komponente der Leistung qualifizierter Fachkräfte (Böhle und Milkau 1988, S. 79 ff.; Martin und Rose 1992; Bender und Graßl 1992, S. 112 ff.). Des weiteren wurden Untersuchungen vorgelegt, die zeigten, daß auch bei der Erstellung von Programmen "vor Ort" an den Maschinen Facharbeiter nicht - wie angenommen - verstärkt nach der Systematik und Logik eines objektivierenden Handelns vorge-

hen, sondern hier ebenfalls Vorgehensweisen nach der Systematik eines "subjektivierenden Handelns" entwickelt werden. Vorteile einer Programmierung vor Ort ergeben sich speziell hieraus (Böhle und Rose 1990; Bolte 1993).

Die im Rahmen des CeA-Forschungsverbunds durchgeführten Untersuchungen knüpften an solche Befunde an und gingen speziell der Frage nach, welche besonderen Charakteristika das subjektivierende Arbeitshandeln bei der Arbeit mit CNC-gesteuerten Maschinen aufweist und worin seine besonderen Leistungen liegen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, daß bei der Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen Erfahrungswissen qualifizierter Fachkräfte eine unverzichtbare Voraussetzung für die Bewältigung der Produktionsanforderungen ist. Dabei handelt es sich jedoch keineswegs "nur" um die Übertragung von Erfahrungen bei der Arbeit mit konventioneller Technik. Vielmehr muß bei der Arbeit an CNC-Maschinen gerade auch das Erfahrungswissen in neuer Weise (weiter-)entwickelt und erworben werden. Grundlage hierfür ist ein "subjektivierendes Arbeitshandeln". Das Erfahrungswissen von Facharbeitern besteht demnach nicht nur in genaueren und detaillierten Kenntnissen der Praxis im Sinne eines Ausführungswissens oder in einer Routinisierung und Habitualisierung von Arbeitspraktiken. Vielmehr handelt es sich um ein "besonderes Wissen", das durch spezifische Formen sinnlicher Wahrnehmung, psychisch-mentaler Prozesse und Vorgehensweisen mit Material und Maschinen erworben wie auch an neue Gegebenheiten und Anforderungen angepaßt wird. Erfahrung bezieht sich dabei nicht nur auf das Sammeln und die Akkumulation praktischer Handlungserfolge (oder Mißerfolge), sondern umfaßt insbesondere den Prozeß des "Erfahrens" bzw. des "Erfahrung-Machens" in der aktuellen Situation.

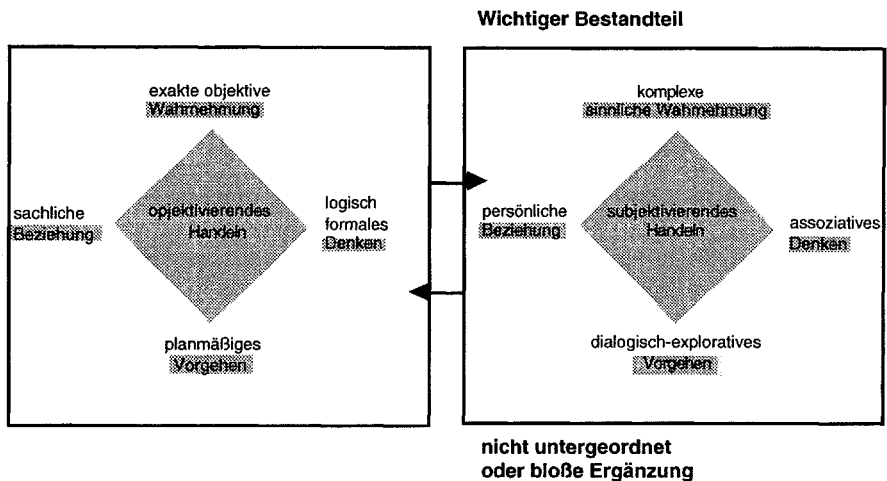
In Verbindung mit den Ergebnissen empirischer Untersuchungen, die auch in anderen Produktionsbereichen wie der Prozeßindustrie durchgeführt wurden (Böhle und Rose 1992), konnte damit ein ursprünglich wissenschaftlich weitgehendes "Neuland" in ein mittlerweile wissenschaftlich vergleichsweise "gesichertes Terrain" übergeführt werden. Bevor hierzu die wichtigsten Ergebnisse der im Forschungsverbund durchgeführten empirischen Analyse der Arbeit mit CNC-gesteuerten Maschinen dargestellt werden, seien noch drei Punkte des CeA-Ansatzes für Arbeitsanalyse und Technikentwicklung betont.

- Die sinnliche Wahrnehmung spielt in dem hier vertretenen Konzept eine wichtige Rolle und wird als eine unverzichtbare Komponente von Erfahrung betrachtet. Dies beschränkt sich aber nicht nur auf die unmittelbare, direkte physisch-sinnliche Wahrnehmung. Entscheidend ist die qualitative Ausformung der sinnlichen Wahrnehmung (komplexe, vielschichtige Informationsquellen in Verbindung mit subjektivem Empfinden). Eine technische Medialisierung und damit der Verlust direkter sinnlicher Erfahrungen steht dem nicht grundsätzlich entgegen und ist somit auch nicht per se gleichbedeutend mit einem Verlust an Erfahrung. Eine zentrale Frage ist vielmehr, in welcher Weise durch die technische Medialisierung die Qualität sinnlicher Wahrnehmung selektiert

und transformiert wird (meßbare, objektivierbare Datenanzeigen usw.), oder ob Formen technischer Mediatisierung zur Anwendung kommen, durch die besondere Qualitäten direkter sinnlicher Wahrnehmung erhalten oder gar verstärkt werden. Des weiteren zeigt sich speziell bei räumlich, zeitlich und sozial dissoziierten Handlungszusammenhängen die besondere Leistung der Antizipation und Verknüpfung von aktuell sinnlich Wahrnehmbaren mit Vorstellungen (Imaginationen) über zu einem anderen Zeitpunkt, Ort usw. wahrgenommene Gegebenheiten. Raum-zeitlich bestehende physische (Wahrnehmungs-)Beschränkungen können damit überwunden werden. Unterstrichen wird damit, daß im Kontext eines subjektivierenden Handelns nicht nur die sinnliche Wahrnehmung, sondern gerade auch mentale Prozesse eine wichtige Rolle spielen, diese aber anders strukturiert sind als bei einem rational-verstandesmäßig geleitetem Handeln.

- Mit dem Konzept subjektivierenden Handelns wird nicht behauptet, daß die Bewältigung von Arbeitsaufgaben ausschließlich durch ein subjektivierendes Handeln erfolgt. Sowohl die Leistung als auch die Notwendigkeit eines "objektivierenden Handelns" werden damit keineswegs bestritten und geschmälert. Untersuchungen im Forschungsverbund bestätigen, daß nicht nur an CNC-Maschinen, sondern auch bei konventioneller Technik Facharbeiter über theoretisch fundiertes Fachwissen verfügen, mathematische Berechnungen anstellen oder/und diese nachvollziehen, Daten auf Anzeigen und Meßgeräten exakt ablesen, Arbeitspläne erstellen und technische Geräte affekt-neutral und instrumentell einsetzen und nutzen. Mit dem Konzept "subjektivierenden Handelns" wird jedoch betont, daß solche Kenntnisse und Arbeitsweisen weder die einzigen noch die grundsätzlich effektiven Voraussetzungen für die Bewältigung von Arbeitsaufgaben sind. Das subjektivierende Handeln von qualifizierten Fachkräften ist in der Praxis mit einem objektivierenden Handeln verbunden, es ist diesem aber weder untergeordnet, noch kann es durch dieses ersetzt werden. Ein Arbeitshandeln, bei dem in dieser Weise das subjektivierende Handeln ein wesentlicher Bestandteil bei der Bewältigung von Arbeitsaufgaben darstellt, soll daher als ein "erfahrungsgeleitetes Arbeiten" bezeichnet werden. Der Akzent liegt darauf, daß Erfahrung ein "leitendes" Prinzip darstellt. (Bild 2.1)
- Die im Forschungsverbund durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß auch bei fortschreitender Technisierung ein erfahrungsgeleitetes Arbeiten notwendig ist und bleibt. Ausschlaggebend hierfür ist, daß in der Praxis eine vollständige (natur-) wissenschaftliche Durchdringung und Beherrschung der konkreten Bearbeitungsvorgänge auf Grenzen stößt. Die Gründe hierfür liegen im Zusammenwirken einer Vielzahl von Parametern, die im konkreten Fall nicht vollständig erfaßt und vorherbestimmt werden können. Insbesondere bei gleichzeitig wachsenden Anforderungen an die Flexibilität der Produktion und damit verbundenem häufigen Wechsel von Produkten und Bearbeitungsvorgängen an den

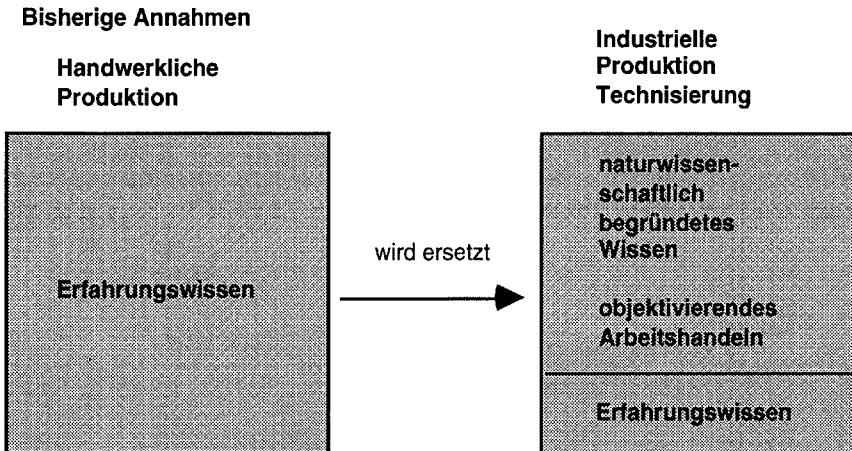




**Bild 2.1:** Objektivierendes und subjektivierendes Handeln in der erfahrungsgeleiteten Arbeit

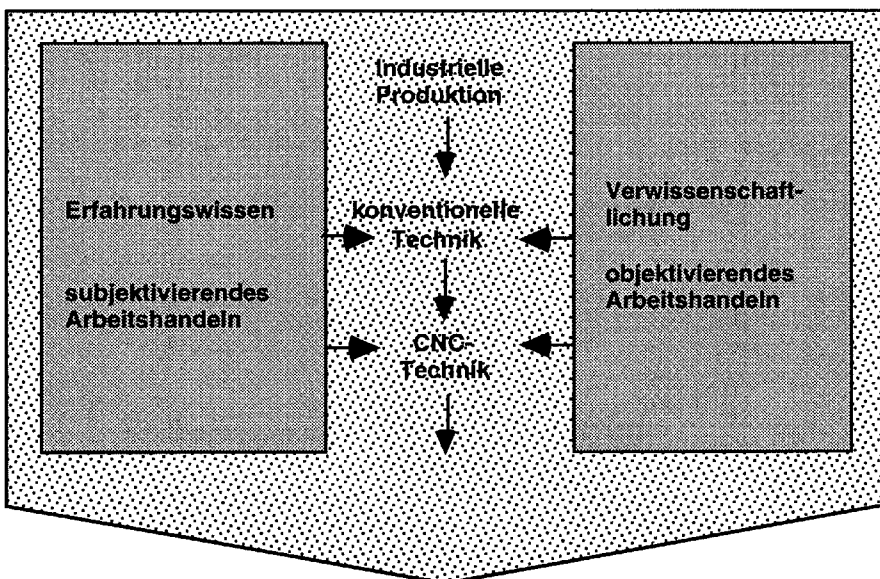
Maschinen sowie einer beständigen (Weiter-)Entwicklung von Materialien, Maschinen, Anlagen und Steuerungstechnik entstehen nicht exakt vorhersehbare und ex ante "bestimmbare" Einflüsse auf die Produktionsabläufe und technischen Systeme. Damit wird nicht behauptet, daß eine vollständige wissenschaftlich-technische Beherrschung grundsätzlich ausgeschlossen ist. Jedoch hängt die Möglichkeit hierzu nicht nur vom Grad der wissenschaftlichen Durchdringung und vom Niveau der technischen Entwicklung ab, sondern ebenso auch davon, ob und inwieweit es gelingt, die konkreten Produktionsgegebenheiten kontrollier- und berechenbar "zu machen", d.h. Parameter und Einflußfaktoren zu reduzieren und ihre Wirkungen zu neutralisieren. Gegenwärtig stellt sich jedoch für die industrielle Produktion eher umgekehrt das Erfordernis, anstelle einer Kontrolle und Ausschaltung von Variabilitäten eine größere Öffnung, Flexibilität und Reagibilität auf Markt- und Kundenanforderungen herzustellen. Vor allem angesichts dieser Entwicklungen ist davon auszugehen, daß auch bei einer fortschreitenden wissenschaftlich-technischen Durchdringung von Be- und Verarbeitungsprozessen zugleich Unwägbarkeiten und Grenzen in der Berechenbarkeit und Kalkulierbarkeit konkreter Produktionsabläufe nicht nur nicht verschwinden, sondern immer wieder in neuer Weise entstehen (Böhle 1992). Es sind und bleiben daher neben einem (natur-)wissenschaftlich geleiteten Vorgehen in der Praxis noch andere "Methoden" erforderlich, um die Unwägbarkeiten, Unsicherheiten und Unbestimmbarkeiten von Produktionsabläufen zu bewältigen. Der Wert menschlichen Arbeitsvermögens und speziell qualifizierter Fachkräfte in der Produktion ist speziell hierin begründet. Damit wird es zu einer zentralen Anforderung an die Technikentwicklung, technische Systeme so auszulegen

und weiterzuentwickeln, daß sie ein solches erfahrungsgeleitetes Handeln ermöglichen und unterstützen (Bild 2.2 und 2.3).



**Bild 2.2:** Bisherige Annahmen zur Entwicklung von Arbeitsanforderungen

### Neue Sichtweise



**Bild 2.3:** Neue Sichtweise zur Entwicklungen von Arbeitsanforderungen

Im folgenden werden anhand der im CeA-Forschungsprojekt durchgeführten empirischen Untersuchungen in einem ersten Schritt die hier umrissenen Arbeitsanforderungen bei der Arbeit mit CNC-gesteuerten Maschinen detaillierter dargestellt. Im Mittelpunkt stehen dabei "kritische Situationen", aus denen sich spezielle Anforderungen an ein erfahrungsgeleitetes Arbeiten ergeben. In einem zweiten Schritt erfolgt dann eine detailliertere Analyse der besonderen Merkmale des subjektivierenden Arbeitshandelns von Facharbeitern bei ihrer Arbeit mit CNC-gesteuerten Maschinen. Auf dieser Grundlage werden dann in einem dritten Schritt Defizite der gegenwärtig vorherrschenden Entwicklungen der CNC-Technik dargelegt und Anforderungen an eine Technikentwicklung zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit formuliert.

## 2.2 Systematik und Topologie kritischer Arbeitssituationen

Erfahrungswissen zur Prozeßbeherrschung wird vor allem in unvorhersehbaren Arbeitssituationen abgefordert und eingesetzt. Da in diesen Situationen eine andere Arbeitsweise notwendig wird, sind sie gegenüber derjenigen für vorwegplanbare Situationen kritisch. Im folgenden Abschnitt werden zunächst die Spezifika kritischer Arbeitssituationen bei Prozeßvorbereitung, -lenkung und -auswertung dargestellt, um daran anschließend ihre Topologie aufzuzeigen.

Bisherige empirische Forschungen im Bereich der maschinellen Zerspanung zeigen, daß aktuelle Bearbeitungsverläufe von vorab geplanten Verläufen aufgrund kontextueller Bedingungen in einem Anteil von ca. 5-30% (Rose 1990, S. 3 f.) abweichen. Es besteht offensichtlich ein Zusammenhang zwischen einer ansteigenden Häufigkeit von Abweichungen und zunehmender Komplexität der Bearbeitung sowie abnehmender Stückzahl bis hin zu Einzelteilen.

Eine Grenze von Vorausplanung liegt in der nicht angemessen möglichen Einberechnung von "neuartigen Problemen ... z.B. beim Test neuer Produkte" (Rose 1992, S. 19), die im Laufe der Zerspanung zu lösen sind und hinsichtlich einer Erfassung und Berücksichtigung aktuell relevanter Einflußfaktoren. Eine weitere Grenze wird in der "Vielzahl sich gegenseitig beeinflussender Prozeßparameter auch in neuen und von Prozeßmodellen nicht vorweg voraussehbaren Kombinationen" beschrieben. Die Komplexität und Vielfalt der Einflußfaktoren sowie deren schleichende Veränderungen im Laufe der Bearbeitung können auch ansonsten "alltägliche" Bearbeitungssituationen "kritisch" werden lassen. So kann z.B. ein zunehmender Werkzeugverschleiß dazu führen, daß eine anfangs gut eingestellte computergesteuerte Bearbeitung im Endeffekt nicht zur geforderten Qualität führt oder aber unterbrochen wird, z.B. durch Werkzeugbruch. Ein in der Werkstatt häufig notwendiges zeitkritisches Agieren

ist mit bisher auf eine Vorweg-Planung ausgerichteten Instrumentarien nicht oder nur aufwendig möglich.

In der Literatur zur Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen finden sich bisher einzelne Hinweise auf Grenzen der Planbarkeit in der Fertigung. Ein Ordnungs- oder Kategorienschema zur Einordnung und Verortung von kritischen Arbeitssituationen und Störgrößen, die einer exakten Voraussage des Zerspanungsprozesses und seiner automatischen Regulierung entgegenstehen, fehlte jedoch bisher. Eine solche Systematik von Arbeitssituationen ist aber erforderlich, um Grenzen einer Vorausplanung und Vollautomatisierung spezifizieren und differenzieren zu können. Hiermit wird auch ein grundlegendes Verständnis der besonderen Anforderungen an qualifizierte Facharbeit in der zerspanenden Fertigung möglich.

Unter kritischen Arbeitssituationen werden im folgenden solche Situationen verstanden, die in ihrem Auftreten und Verlauf im voraus nicht exakt erfaßbar und planbar sind. Kritische Arbeitssituationen zeichnen sich dadurch aus, daß sie sich nicht durch regelartige Verknüpfungen in der Form von Algorithmen zwischen definierten Ist- und Sollzuständen bewältigen lassen. In der Erfassung definierter Ist- und Sollzustände sowie in der Ableitung und Beschreibung von Regeln zur Überführung eines Ist- in einen angestrebten Sollzustand bestehen Voraussetzungen für automatisch zu steuernde Prozesse.

Dies Verständnis von "kritisch" ist somit auf Grenzen im vorhinein geplanter und algorithmisch-regelartig kontrollierter Bearbeitungen bezogen. Kritische Arbeitssituationen stellen eine Art Störgröße dar, die potentiell eine automatisierte Bearbeitung unterbrechen, abändern oder gefährden. In der Bewältigung kritischer Arbeitssituationen unter der Perspektive einer Sicherstellung von Teilequalität liegt gleichzeitig ein wesentliches Leistungspotential qualifizierter Facharbeit.

In vorgenanntem Sinne kritische Arbeitssituationen im Bereich der spanabhebenden Verfahren Drehen und Fräsen sind nachfolgend den drei Bearbeitungsphasen Prozeßvorbereitung, -lenkung und -auswertung zugeordnet. Diese Phasen sind im Unterschied zu sonstigen Beschreibungen, die sich an der Abarbeitung vorgefertigter Programme orientieren, aus einer empirisch fundierten Analyse eigenverantwortlichen Arbeitshandelns qualifizierter Fachkräfte mit CNC-Werkzeugmaschinen entstanden.

Die Phase der Prozeßvorbereitung umfaßt Tätigkeitsanteile der Übernahme eines Auftrags, der Bildung einer Bearbeitungsstrategie, der Umsetzung in ein NC-Programm incl. Werkzeugauswahl und Technologiewerdefestlegung, der Überprüfung des Programms mittels Simulation sowie des Einrichtens, Bestückens und Aufspannens. Die Tätigkeitsphase endet, wenn die maschinelle Abarbeitung des NC-Programms beginnt.

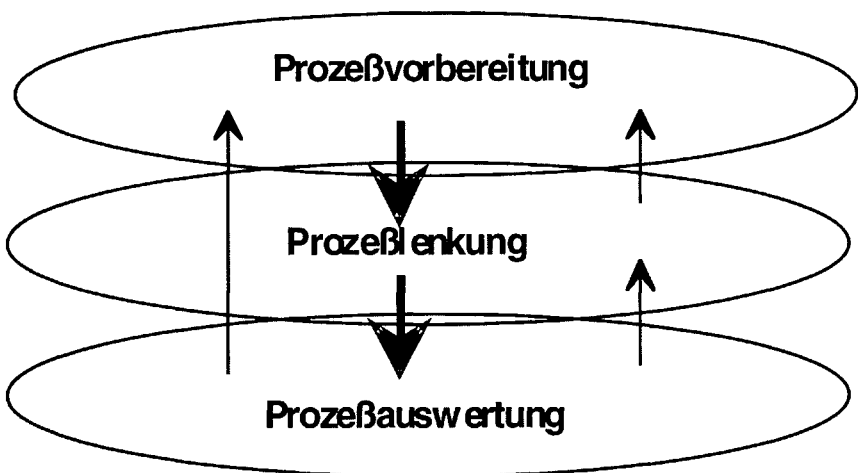
Die Phase der Prozeßlenkung enthält vor allem Tätigkeitsanteile des Einfahrens und des Überwachens. Die zugrundeliegenden Tätigkeitsstrukturen sind ähnlich wie z.B. das Wahrnehmen des aktuellen Bearbeitungsverlaufs und Optimieren oder Korrigieren von Prozeßparametern während der laufenden Bearbeitung z.B. mittels Override-Potentiometer.

In diese Phase gehören weiterhin Tätigkeiten wie das Neu- oder Wiederanfahren nach Prozeßunterbrechungen.

Die Phase der Prozeßauswertung enthält vor allem Tätigkeitsanteile des Prüfens hinsichtlich Maßhaltigkeit, des Prüfens von Oberflächengüten sowie die Durchführung notwendiger Veränderungen in Einstellungen der Prozeßparameter für die Fertigung eines weiteren Teils. Außerdem sind qualitätssichernde Maßnahmen dieser Prozeßphase zuzuordnen. Solche Tätigkeitsanteile finden sich im Anschluß an vollzogene Zerspansungsabschnitte bzw. nach der kompletten Bearbeitung. Darüberhinaus findet die Arbeits- und Rückdokumentation, z.B. Ablage und Archivierung von Programmen im DNC-Betrieb, Meldungen an die Arbeitsvorbereitung und Programmierung usw. in dieser Bearbeitungsphase statt.

Die genannten Tätigkeitsphasen werden in der Praxis nicht in streng hierarchisch-sequentieller Abfolgerichtung durchlaufen. Zwar gibt die herkömmliche NC-Technik durch die Bedingung der Vorabbeschreibung der Zerspansung ein solches Vorgehen vor. Bei genauer Analyse der Facharbeitstätigkeit fällt besonders auf, daß Facharbeiter den programmgesteuerten Ablauf an ausgewählten Stellen unterbrechen, um z.B. eine Werkzeugwahl zu revidieren oder um Zwischenmaße abzunehmen und daraufhin den Prozeß neu einzustellen. Individuell geprägte Verschränkungen zwischen diesen Phasen werden von den Fachkräften gesetzt.

Der genannte Zusammenhang läßt sich in folgendem Schaubild (Bild 2.4) verdeutlichen. In der Abbildung zeigen Pfeile die jeweilige Abfolgerichtung der Prozeßphasen an. Die Häufigkeit der Richtung in der Aufeinanderfolge ist durch die Pfeildicke symbolisiert.



**Bild 2.4:** Prozeßphasen der zerspanenden Bearbeitung mit CNC-Werkzeugmaschinen und ihre Aufeinanderfolge



In den nächsten Abschnitten werden zunächst entlang der Prozeßphasen typische kritische Arbeitssituationen beschrieben. Die für eine Vorausplanung und algorithmisch gesteuerte Zerspannung kritischen Situationen sind abgeleitet aus Beobachtungen des Arbeitshandelns und Interviews qualifizierter Fachkräfte in den untersuchten Betrieben. Ziel ist, mittels des dargestellten Situationsspektrums eine Grundlage zu schaffen, um allgemeine Merkmalsstrukturen abzuleiten; nicht explizit genannte Arbeitssituationen können entsprechend zugeordnet werden. Abschließend werden diese Strukturen zu einem Ordnungsschema zusammengefaßt.

### **2.2.1 Kritische Arbeitssituationen in der Prozeßvorbereitung**

Typische kritische Arbeitssituationen in der Hinsicht von Grenzen einer Vorausplanbarkeit und vollautomatischen Steuerbarkeit in der Phase der Prozeßvorbereitung bestehen in

- der Übernahme von Auftragsunterlagen und -materialien,
- der Bestimmung von Fertigungsmaßen und deren Umsetzung in eine NC-Bearbeitung,
- der Festlegung der Abfolge der Bearbeitungsschritte,
- der Werkzeugwahl,
- der fertigungsgerechten Aufspannung des Werkstücks und in
- der Festlegung der Technologiewerte.

#### **(1) Übernahme von Auftragsunterlagen und -materialien**

Mit der Übernahme eines Auftrags werden gleichzeitig dessen Unterlagen und Gegenstände soweit vorhanden übernommen, also Arbeitsplan, Einrichteblatt, Zeichnung, Rohteil, NC-Programm und ggfs. zusätzliche Unterlagen. In der betrieblichen Praxis fällt auf, daß immer wieder Aufträge mit unvollständigen Auftragsmaterialien auftreten. Dies konnte sowohl bei Arbeitsvorbereitungsabteilungen (AV), die mit "konventionellen" Planungswerkzeugen arbeiten, wie auch bei solchen, die mit Computerunterstützung, PPS-Systemen und im DNC-Betrieb arbeiten, beobachtet werden. Auch bei automatisierter Übertragung der Auftragspapiere mittels DV-Netzen fanden sich als kritische Situationen diejenigen fehlender Zeichnungen, fehlender oder nicht aktueller NC-Programmversionen, im Betrieb nicht vorhandener Werkzeuge oder fehlendem Material. Diese Situationen, die sich unter den Oberbegriff "unvollständige Auftragsunterlagen und -materialien" subsummieren lassen, sind deshalb kritisch, da sie eine arbeitsvorgangsgenaue Fertigungsplanung deutlich behindern, es kommt zu Maschinenstillstandszeiten usw. Dies in desto größerem und schwerwiegenderem Ausmaß, je mehr in vorgelagerten Betriebsbereichen wie z.B. in der AV, arbeitsvorgangsgenau und minutiös die Bearbeitungsabfolgen festgelegt werden. Dies wird exemplarisch deutlich anhand einer Aussage eines Facharbeiters, der in der Nachtschicht eines Betriebes mit Programmerstellung in der vorgelagerten NC-Programmierung arbeitet:

*"Eigentlich müssen gerade in der Nachtschicht die Zeichnungen und NC-Programme für die Aufträge auf dem neuesten Stand sein. Aber unsere Erfahrung ist die, daß in der Nachtschicht häufig Arbeitsunterlagen fehlen, das reicht von fehlenden Zeichnungsangaben bis zum Fehlen oder Überspielen von alten NC-Programmversionen. Wenn man sich nicht auskennt mit Zeichnungen und was der Konstrukteur gemeint haben könnte und im Notfall kein Programm selbst schreiben kann, dann steht die Maschine."*

Die Situation unvollständiger Auftragsmaterialien tritt also auch in Situationen auf, in denen betrieblicherseits häufig versucht wird, sie auszuschließen (wie z.B. für die Nachtschicht), da Fertigungsverzögerungen die Folge sind. Sie können gleichwohl dazu dienen, Grenzen einer Einplanung und Vorhersage von Unwägbarkeiten und Störquellen in logistischen Systemen aufzuzeigen. Gleichzeitig wird die Bedeutung einer Bewältigung von Aufträgen mit unvollständigen Auftragsmaterialien für eine flexible und reibungslose Fertigung deutlich.

## **(2) Bestimmung von Fertigungsmaßen und Umsetzung in NC-Bearbeitung**

In der Konstruktionszeichnung sind Fertigungsmaße festgelegt. Eine erste für eine Vorwegplanung kritische Situation besteht hier in der Festlegung von Aufmaßen beim Drehen und Fräsen, wenn im Rahmen einer flexiblen Fertigung der Fertigungsaufwand auch der nachfolgenden Bearbeitungen optimiert werden soll. Aufmaße erschweren bzw. erleichtern nachfolgende Bearbeitungen. So kann ein anschließender Fräsvorgang unterstützt werden, wenn beim Drehen Aufspannmöglichkeiten auf der Fräsmaschine mitbedacht wurden; es kann die Bearbeitungszeit beim Schleifen gesenkt werden, wenn geringere und gleichbleibende Aufmaße beim Drehen oder Fräsen sichergestellt werden. Somit ist ein Einflußfaktor identifiziert, der die Planung erschwert. Bei der Festlegung von Aufmaßen müssen Konsequenzen für nachfolgende Bearbeitungen berücksichtigt werden. Eine Anforderung aus der Sicht der Fertigung besteht hier in einem Mitbedenken des Fertigungsaufwands für die nachfolgende Bearbeitung.

Ein weiterer Faktor, der die Vergabe allgemeingültiger Aufmaße erschwert, besteht in dem nicht exakt bestimmbaren Verhalten von Werkstücken durch nachfolgende Bearbeitungen, wie Oberflächenbehandlungen. Insbesondere beim Härten ist eine Vorhersage von Ausmaß und Richtung des resultierenden Verzugs problematisch. Einflußfaktoren für Verzug sind hierbei Größe und Beschaffenheit der zu behandelnden Fläche, die sog. Angriffsfläche, wie es typischerweise eine Fachkraft ausdrückte:

*"Beim Härten schwankt der Verzug: es kann ein Zehntel, es können aber auch zwei Zehntel sein. Bei größeren Teilen kommt es darauf an, wie groß Teil und Angriffsfläche sind, wo sich etwas verziehen, schrumpfen oder auseinander gehen kann."*

Ein zu knapp gewähltes Aufmaß kann ggfs. dazu führen, daß nach dem Härten das Teil/die Passung zu klein gerät und nicht mehr ausgeglichen werden kann. Hier ist offensichtlich ein Vorgehen notwendig, das sich am sukzessiven Reagieren auf aktuelle Veränderungen ausrichtet.



Weiterhin findet in den Bereichen Drehen und Fräsen in einem bestimmten Anteil bereits ein Fertigen auf Endmaß statt. Kritisch wird die Apriori-Festlegung der NC-Maßparameter zur Sicherstellung eines Endmaßes bei eng tolerierten Passungen im Hundertstel- oder Tausendstel-Bereich. Dies hängt mit dem Auftreten von Unregelmäßigkeiten verschiedener Art zusammen, die bereits in kleinem und verschwimmendem Ausmaß einen Einfluß auf das Erreichen bzw. Nichterreichen der Passungstoleranz haben. Infolgedessen lassen sich die Maßparameter für ein Endmaß kaum vor der Zerspanung genau festlegen:

*"Ich stelle meine Maschine nicht auf ein Hunderstel genau nach den vorgegebenen Maßen ein, dann würde ich die Endmaße nie erreichen. Da kommt der Druck des Fräasers zu, die Steifigkeit der Maschine oder auch die Erwärmung vom Kühlschmiermittel. Bei größeren Passungen ist es z.B. schon ein Unterschied, ob die Temperatur vom Kühlwasser ein bißchen zu hoch ist. Beim ersten Messen kann die Passung ein bißchen weit sein, nach dem Abkühlen ist sie dann plötzlich zu eng."*

Bei der Vergabe der NC-Maßparameter müssen somit unter anderem aktuelle Erwärmungsgrade von Mechanik und Spindelsystem der Maschine und Kühlschmiermittel sowie Werkzeugeigenschaften berücksichtigt werden.

Ein weiterer Einflußfaktor bezüglich einer maßgenauen Fertigung ist die Zusammensetzung des zur Kühlung verwendeten Mittels. Nach Aussagen der untersuchten Facharbeiter ist in ca. 10% der Fälle bei hochgenauen Passungen ein vorab festgelegtes Kühlschmiermittel nicht adäquat. Bei der Fertigung eng tolerierter Passungen ist es offensichtlich notwendig, den Zustand der Passung vor dem letzten Schlichtschnitt zu begutachten und dann entsprechend ein Kühlmittel aktuell zu wählen. So unterscheiden sich Kühlöl und Kühlwasser in ihrem Einfluß auf die Spanabnahme. In der teilnehmenden Beobachtung konnte darüber hinaus der Einfluß des Zielpunktes des Kühlschmiermittels auf dem Werkstück als weiterer Einflußfaktor ermittelt werden. Der Zielpunkt verändert den Erwärmungsgrad des Werkstücks und der zu bearbeitenden Fläche und steht somit in Wechselwirkung mit dem Erwärmungsgrad von Kühlmittel und Maschine.

Die genannten Einflußfaktoren, deren Ausmaß sich erst anhand der tatsächlichen Spanabnahme zeigt, machen somit ein Festlegen der NC-Maßparameter für eine Endmaßfertigung vor Beginn der Zerspanung nahezu unmöglich. Sie können offensichtlich erst sukzessive im Laufe der Abarbeitung bestimmt werden.

### **(3) Bestimmung der Bearbeitungsabfolge**

Aus der Beobachtung des Arbeitshandelns von Facharbeitern, die Bearbeitungsfolgen bei extern erstellten NC-Programmen öfter verändern, kann geschlossen werden, daß bei der Bestimmung der Bearbeitungsabfolge ebenfalls aktuelle Einflußgrößen berücksichtigt werden müssen. Zum einen ergeben sich wichtige Informationen zur Optimierung der Zielparameter von Qualität und Bearbeitungszeit erst in der direkten Anschauung von aktuellem Werkstück, Werkzeugen und Maschine. Darüber

hinaus können im Verlauf der Zerspanung aber auch Bedingungen auftreten, die eine Veränderung der Bearbeitungsschrittfolge erfordern. Dies ist z.B. der Fall, wenn Schlichtvorgänge wiederholt werden müssen oder sich Bearbeitungszyklen als nicht notwendig erweisen.

#### (4) Werkzeugwahl

Kritisch kann die Zuordnung von Werkzeugen zu Bearbeitungsschritten werden, wenn die tatsächlichen Zustände und Beschaffenheiten vor dem Hintergrund der qualitativen Anforderungen aktuell zu berücksichtigen sind. Ein Einflußfaktor besteht darin, daß sich Materialien und Werkzeuge gleicher Typen in kleinen Ausprägungen unterscheiden, die sich jedoch auf die Qualität der Zerspanung auswirken können. Diese aktuellen Abweichungen sind dafür verantwortlich, daß sich die Zuordnung von Werkzeugen zu Bearbeitungsvorgängen vor dem Hintergrund der qualitativen Anforderungen nicht regelartig nach bestimmten Standards vornehmen läßt. Ein typisches Beispiel aus dem Bereich Fräsen, das aber ebenfalls für den Bereich Drehen gilt, ist die folgende Einschätzung:

*"Beim Fräsen kommt es insbesondere beim Fertigen eng tolerierter Passungen entscheidend darauf an, ob man ein gutes Werkzeug zur Verfügung hat oder eins, das schon häufig nachgeschliffen ist und die Winkel nicht mehr so sind, wie es eigentlich sein sollte".*

Die Zuordnung der Werkzeuge zu einer bestimmten Bearbeitung ist vor allem dann kritisch, wenn in ein schwierig zu zerspanendes Material, wie beispielsweise Guß, eine technologisch aufwendige und anspruchsvolle Bearbeitung wie z.B. eine tiefe und eng tolerierte Passung geschnitten werden soll:

*"Für die Bearbeitung von Guß haben wir keine geeigneten Werkzeuge mit der hierfür notwendigen Schärfe. Ich schleife die dann selber, die Platte muß hinten angeschliffen und vorne scharfkantig sein."*

Gehärtete Materialien werden als generell schwer zerspanbar bezeichnet, insbesondere, wenn nur Teile eines Werkstücks gehärtet werden, so daß z.B. eine nicht gehärtete und eine gehärtete Fläche in einem Arbeitsgang gebohrt, ausgedreht oder Gewinde hineingeschnitten werden. In solchen Fällen findet sich in der betrieblichen Praxis häufig eine ausführliche Testphase, in der verschiedene Werkzeuge ausprobiert werden, wie es ein Facharbeiter für die Verfahren Drehen und Fräsen typisch beschrieb:

*"Schwierig wird es, wenn gehärtete Werkstücke ausgedreht oder in gehärtete Materialien Gewinde usw. geschnitten werden. Da kommt es oft vor, daß entweder das Werkzeug bricht oder das Gewinde verläuft. Da probieren wir viel mit verschiedenen Wendeplatten und Stählen".*

Eine Zuordnung von Werkzeugen erweist sich daher vor allem dann als vorläufig, wenn schwer zerspanbare Materialien verwendet werden und hohe Anforderungen an Qualität bestehen. Eine Werkzeugwahl wird desto fertigungsgerechter, je mehr Einflußgrößen wie Material- und Maschinenbeschaffenheiten aktuell einbezogen werden können.

### (5) Fertigungsgerechtes Aufspannen

Bei geometrisch komplexen Werkstücken findet sich insbesondere im Bereich des Fräsens die Beobachtung, daß in vorgelagerten Betriebsbereichen vorgedachte Aufspannungen von Facharbeitern vor Ort oftmals verändert werden (Golinski 1992, S. 38f.). Eine fertigungsgerechte Aufspannung ergibt sich erst durch die konkrete Anschauung vor Ort. Dies wird stellvertretend mit der Aussage einer Fachkraft deutlich, die in einem Betrieb arbeitet, in dem Aufspannungen im betrieblich vorgelagerten NC-Programmierbüro mittels Einrichteblättern festgelegt werden:

*"Wir können eben Teile nicht am grünen Tisch machen, da muß man wirklich vor Ort sehen, kann ich die spannen oder wie komm ich da ran mit der Spindel. Gerade wenn Teile sehr lang sind und komplexe Formen haben, dann irren sich die Programmierer leicht. Darüber hinaus kommt es beim Aufspannen auch auf die Maschinendaten an. Bei meiner Maschine da stimmt die Geometrie nicht. Das heißt, der Tisch ist nicht axial zur Spindel. Wenn das einer nicht weiß, fährt er Ausschuß".*

In dem Zitat wird deutlich, daß eine extern in vorgelagerten Bereichen vorgenommene Planung der Aufspannung in bestimmten Fällen nicht fertigungsgerecht vorgenommen werden kann. In diesen Fällen müssen notwendig konkrete Faktoren der Situation vor Ort, wie z.B. Maschinencharakteristika oder Merkmale der Werkstückgeometrie berücksichtigt werden. Es ist festzuhalten, daß diese vielfältigen Faktoren nicht in ihrer Gesamtheit am "grünen Tisch" ohne konkrete Anschauung einbezogen werden können. Eine nicht fertigungsgerechte Aufspannung kann jedoch fatale Folgen für die Zerspanung haben bzw. deren Erfolg gefährden. Weiterhin kommen beim Aufspannen sehr diffizile Zusammenhänge zum Tragen, wie sie sich z.B. bei der Bearbeitungsart Drehen hinsichtlich der Festlegung eines angemessenen Spanndrucks bei rohrähnlichen Teilen zeigen. Hier müssen Charakteristika der Zerspanung wie z.B. große Zähigkeit des Materials und deshalb Anforderungen an hohen Spanndruck und Verformungsgefahr durch zu hohen Spanndruck gegeneinander berücksichtigt werden.

### (6) Festlegung der Technologiewerte

Die Wahl der Schnittwerte hat entscheidenden Einfluß auf Optimierungen der Zielparameter Bearbeitungszeit, Qualität und Werkzeugstandzeit (Böhle 1992, S. 46 f.). Kritisch ist die Wahl der Technologiewerte vor allem dann, wenn sie im vorgelagerten NC-Programmierbüro vorgenommen wird. Dies gilt sowohl für den Bereich Drehen wie auch für den Bereich Fräsen. Stellvertretend eine typische Aussage eines Facharbeiters aus dem Bereich Drehen:

*"Beim Drehen von Passungen kommt es auf den Werkstoff an. Daß die Späne richtig brechen, daß es kein Wickelspan wird und so weiter. Die Werte, die der Programmierer angibt, die stimmen teils überhaupt nicht. In solchen Fällen ändere ich Vorschübe und Drehzahlen.."*

Die von Werkzeugherstellern empfohlenen Werte passen nach übereinstimmenden Aussagen der Facharbeiter nur in "optimalen" Fertigungssituationen, wenn optimal gespannt werden kann, wie z.B. im Labor

der Hersteller. In der Praxis sind diese Bedingungen aber oftmals nicht gegeben, viele Teile lassen sich nicht optimal spannen. Es müssen u.a. freischwebende Flächen berücksichtigt werden.

Kritisch wird die Vergabe von Technologiewerten dadurch, daß Einflußgrößen wie schwer erfaßbare Material- und Werkzeugveränderungen, besonders anspruchsvolle Bearbeitungen wie z.B. sehr tiefe Passungen und die Spannsituation in ihrer Wechselwirkung berücksichtigt werden müssen. Auf diesen Sachverhalt ist die betriebliche Beobachtung zurückzuführen, daß vorgegebene Technologiedatenbanken und Technologieprozessoren lediglich zur groben Orientierung bei neuen Werkstoffen eingesetzt werden.

### 2.2.2 Prozeßlenkung

Während der maschinellen programmgesteuerten Bearbeitung lassen sich folgende typische kritische Arbeitssituationen unterscheiden, die auch als Grenzen für eine exakte Vorausplanbarkeit und algorithmische Kontrolle angesehen werden können:

- die Erfassung und Reaktion auf Veränderungen der maschinellen Zerspanung,
- die Erfassung und Vermeidung von Maßabweichungen, gegebenenfalls auch von Werkzeugverschleiß, und
- die Durchführung von Werkzeugwechsel.

#### (1) Erfassung und Reaktion auf Veränderungen des Zerspanungsprozesses

Auftretende Vibrationen, schlechter Spanfluß, sich allmählich abnutzende Werkzeuge sowie Materialunregelmäßigkeiten (z.B. Lunker) stellen Störgrößen für die laufende Bearbeitung dar. Sie können im weiteren Verlauf der Zerspanung zu Qualitätsverlusten bezüglich Oberflächengüte und Maßhaltigkeit, oder im Falle sensibler Werkzeuge wie z.B. längerer Bohrstangen zu Werkzeugbrüchen führen. Vibrationen, Spanfluß, Geräusche usw. hängen zusammen mit Tendenzveränderungen der Zerspanung in Richtung Qualitätsverlust. Zugrunde liegen Schnittwerte, die für die momentane Zerspanung nicht bzw. nicht mehr adäquat sind. Vorab eingestellte Schnittwerte müssen somit an aktuelle Prozeßveränderungen angepaßt werden. Facharbeiter greifen nach unseren Untersuchungen insbesondere bei neu erstellten NC-Programmen häufiger über Vorschub- und Drehzahlregulierungen mittels Override-Potentiometer in die laufende Bearbeitung ein, wie es typisch anhand der folgenden Facharbeitersaussagen aus den Bereichen Fräsen und Drehen deutlich wird:

*"Die Frage, wie ich spannen kann, hat einen Einfluß auf die Schnittwerte. Wenn ich eine zwei Meter lange Stahltraverse aufspannen muß, und ich sie gut unterstützen kann, dann kann ich nahezu mit jedem Schub fahren. Im allgemeinen sind aber unter dem Werkstück Hohlräume, so daß ich nicht optimal aufspannen kann. Dann muß ich sehen, wie es läuft, es kön-*

nen sich Schwingungen ergeben und ich muß die Schnittwerte verändern."

*"Es ist wichtig, daß man sieht, daß der Spänefluß gut ist, daß das Werkzeug nicht abgenutzt ist, daß die Spanabfuhr in Ordnung ist, die Späne sich nicht verkeilen, die Kühlung stimmt. Das kann man fast überhaupt nicht vorhersagen, man muß dann die Drehzahl und den Vorschub korrigieren. Die Werte müssen grundsätzlich an die aktuellen Zerspanungsbedingungen angepaßt werden."*

Die Erfassung und Reaktion auf nicht optimal verlaufende Zerspanungen bzw. die Optimierung des Bearbeitungsprozesses sind unter anderem aus zwei Gründen heraus kritisch für eine vorweg geplante und automatisch ablaufende Bearbeitung:

- Zunächst müssen die Anzeichen für einen nicht optimalen Zerspanungsverlauf erfaßt und in ihrer situationsabhängigen Bedeutung für Zustand und weiteren Verlauf der Zerspanung gewichtet werden. Charakteristisch sind hier diffuse, nicht exakt bestimmbare und nur situationsabhängig interpretierbare Kennzeichen. Der Zusammenhang zwischen bestimmten Zerspanungsparametern - wie z.B. Vibrationen, Geräuschen, Spanbruchcharakteristika - und deren Bedeutung für die Qualität der jeweiligen Zerspanung läßt sich somit nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand algorithmisch fassen.
- Weiterhin läßt sich nicht regelartig bestimmen, welche Eingriffe angemessen sind, um die Zerspanung in optimaler Weise zu beeinflussen. Zum einen muß über Art und Weise des Eingriffs, also über Regulationen von z.B. Drehzahl, Vorschub, Veränderungen von Schnitzzustellungen oder Kombinationen entschieden werden. Zum anderen müssen Eingriffe angemessen dosiert vorgenommen werden. In der Vielzahl der Kombinationsmöglichkeiten von Eingriffen sowie in der adäquaten Zuordnung zu jeweiligen Zerspanungscharakteristika liegen Grenzen für eine Steuerung in Form von Regeln oder Algorithmen.

## **(2) Erfassung und Vermeidung von Maßabweichungen und Werkzeugabnutzung**

Maßabweichungen bereits während der Zerspanung zu erfassen und daraufhin gezielt zu reagieren, stellt eine weitere kritische Situation dar. Kritisch deshalb, da die tatsächlich abgenommenen Spanvolumina von den im NC-Programm festgelegten Einheiten abweichen können:

*"Bei wertvollen Wellen muß man frühzeitig zu erkennen, wenn der Drall nicht mehr stimmt. Denn wenn ich nachher beim Nachmessen feststelle, daß das nicht maßhaltig ist, wird es teuer. Man kann Zehntelschritte zwar nicht sehen, aber ich höre das am Geräusch, wenn der Fräser mehr Material abnimmt als eigentlich vorgesehen".*

Merkmale während der Zerspanung, die auf eine nicht maßhaltige Fertigung hindeuten, lassen sich nicht in Form von Wenn-Dann-Regeln erfassen. Hierin besteht daher eine weitere Grenze für eine automatische Prozeßsteuerung. Übermäßige Werkzeugabnutzung mit Gefahr für Maßabweichungen und Oberflächengüte steht im Zusammenhang mit einge-

setzten Schneidplatten, Werkzeughaltern, Verfahrenwegen und Materialeigenschaften. Sie kann ausgeglichen werden durch Anpassungen in Schnitttiefe und Schnittgeschwindigkeit. Bei vorgenommenen Werkzeugkorrekturen ist häufig das Wiederauffahren nach Prozeßunterbrechungen kritisch. Bei komplexen Geometrien müssen die Korrekturen auch hinsichtlich der berechneten Fahrwege passen.

### **(3) Durchführung von Werkzeugwechsel**

Werkzeugwechsel sind v.a. beim Einwechseln eines neuen Werkzeugs in einen unterbrochenen Arbeitsgang evtl. im Anschluß an einen Werkzeugbruch kritisch. Hier muß die Abnutzung/Stumpfheit und das Schneidverhalten des neuen Werkzeugs berücksichtigt werden:

*"...wenn jetzt die Platte bricht und ich will mit der neuen reinfahren (in die Bohrung) dann muß ich aber schon 2-3 Zehntel zurück gehen. Weil der nachher mindestens ein Zehntel oder 2 nimmt nochmal".*

Hinzu kommt die Charakteristik, daß neue Schneidplatten degressiv verschleifen, d.h. sie nutzen sich anfangs stärker und später weniger stark ab. Beim Werkzeugwechsel im Schnitt stellt sich somit eine ähnliche Problematik wie sie bereits bei der Werkzeugwahl in der Phase der Vorbereitung beschrieben wurde.

In kleineren Betrieben ist die Werkzeugverwaltung häufig in Maschinen- nahe angesiedelt. Gleichzeitig bestand hier oftmals die Möglichkeit, daß Facharbeiter Werkzeuge selbst nachschleifen konnten. In größeren Betrieben fand sich häufig eine zentrale Werkzeugvoreinstellung. Insbesondere beim Werkzeugwechsel kommt es während eines Programmlaufs dann zu Verzögerungen, da hier räumliche und organisatorische Wege eingehalten werden müssen. Beim Werkzeugwechsel ist das Wiederauffahren bei den gegenwärtig eingesetzten Systemen aufwendig, insbesondere, wenn es sich um komplexe Geometrien handelt. Kritisch ist die Situation in diesem Fall nicht infolge der aktuellen Gegebenheiten, sondern wegen Mängeln der Steuerungstechnik.

## **2.2.3 Prozeßauswertung**

Kritische Situationen, die Grenzen für eine Vorwegplanung und vollautomatische Steuerung im Bereich der Prozeßauswertung begründen, betreffen die

- Erfassung und Kompensation von Maßveränderungen,
- Erfassung und Kompensation von Werkzeugverschleiß sowie
- Dokumentation von Arbeitsergebnissen.

### **(1) Erfassung und Kompensation von Maßveränderungen**

Kritisch an festgestellten Maßveränderungen - die sich unter Umständen noch innerhalb der Toleranz befinden können, aber bei kleinen Serien immer dichter an die Toleranzgrenze heranrücken und somit eine bestimmte Tendenz anzeigen - ist die Rückführung auf Ursachen:



*"Wenn die Passung zu klein oder zu groß geraten ist, muß ich wissen, woran es liegt, um hier etwas verändern zu können. Es kann mit der Erwärmung von Maschine und Werkstück zusammenhängen und es kann auch an der Abnutzung vom Werkzeug liegen".*

Maßveränderungen lassen sich offensichtlich nicht eindeutig auf sich abnutzende Werkzeuge zurückführen. Prozeßparameter wie Erwärmung von Maschine und Kühlschmiermittel, darüberhinaus Schwankungen im Material bei kleinen Serien usw. treten hier in Wechselwirkung und können zu Maßveränderungen führen, die in bestimmten Fällen reversibel, d.h. nicht endgültiger Natur sein können (z.B. mit Abkühlung kann sich das Werkstück zusammenziehen usw.). Dies macht eine differenzierte Ursachenanalyse notwendig, um geeignete Lösungsmöglichkeiten zu finden.

## **(2) Erfassung und Kompensation von Werkzeugverschleiß**

Eine Information über den Werkzeugzustand bzw. über den eingetretenen Verschleiß besteht im Zustand der fertig bearbeiteten Flächen. Kritisch an dieser Situation ist die Schlußfolgerung, wie lange, bzw. wie viele Bearbeitungen ein bestimmtes Werkzeug mit der geforderten Qualität noch leisten kann. Es erfolgt somit eine Abwägung bezüglich der Optimierung der Werkzeugstandzeit vor dem Hintergrund des Vermeidens von Qualitätsverlust und evtl. Werkzeugbruch. Dies gilt für Drehen und Fräsen, zur Verdeutlichung ein typisches Zitat aus dem Bereich Fräsen:

*"Bei der Überwachung gucke ich meistens die Flächen an. Daran kann man erkennen, wie gut der Fräser noch ist und kann überlegen, wie lange hält er noch, hält er noch bis zum Ende der Bearbeitung durch, vielleicht mit verminderten Schnittwerten oder muß ich gleich wechseln".*

Der Rückschluß aus Werkstückoberflächen auf den Zustand von Werkzeugen und die nachfolgende situations- und kontextabhängige Entscheidung über Wechseln oder Weiterlaufenlassen stellt eine wichtige Arbeitsanforderung in bezug auf eine reibungslose und qualitätsorientierte Teilefertigung dar. Diese Zusammenhänge lassen sich ebenfalls nicht in der Form von Wenn-Dann-Beziehungen im voraus bestimmen.

## **(3) Dokumentation von Arbeitsergebnissen**

Bei der Dokumentation von Arbeitsergebnissen handelt es sich um Fragen der Änderung und Archivierung von NC-Programmen, um das Sammeln von Technologiewerten sowie um Fragen einer Dokumentation von Spannsituationen. Ziel ist eine Minimierung des Fertigungsaufwands im Falle einer Wiederholteilfertigung. Kritische Arbeitssituationen finden sich zunächst in Betrieben mit einer der Fertigung vorgelagerten NC-Programmierabteilung. Verschiedene NC-Programmversionen mit unterschiedlichen Optimierungsgraden bestehen im Betrieb nebeneinander. Folgen zeigt die Aussage eines Facharbeiters auf:

*"Das kann sehr ärgerlich sein, wenn ich ein NC-Programm erhalte, in dem meine Optimierungen nicht enthalten sind. Ich weiß dann, daß ich optimiert habe und fahre daraufhin ohne große Überprüfung des Programms los. Dann kann ich mein blaues Wunder erleben."*

Es zeigte sich, daß eine Lösung des Problems einer angemessenen Archivierung von NC-Programmen dann gelingt, wenn zwischen Program-



mieren und Facharbeitern eine kontinuierliche Kommunikation stattfindet. Dann kann eine laufende Verständigung über Veränderungen im Programm und über die Gepflogenheiten der Archivierung erfolgen. Wenn Kommunikation auf die technische Seite des Überspielens von NC-Programmen im DNC-Betrieb reduziert ist, kommt es zu den genannten Archivierungsproblematiken.

Bei der Dokumentation komplexer Aufspannsituationen liegt häufig die Schwierigkeit in einer adäquaten Beschreibung. Anhand von wörtlichen Beschreibungen wird oftmals ein Nachvollzug der Aufspannung nicht deutlich.

#### **2.2.4 Merkmale kritischer Arbeitssituationen in der Zerspanung**

Im folgenden werden die den genannten kritischen Arbeitssituationen zugrundeliegenden Merkmalsstrukturen in einer von den einzelnen Arbeitssituationen abstrahierten Weise abgeleitet. Mittels dieses Vorgehens läßt sich ein Ordnungsschema erstellen, mit dessen Hilfe kritische Arbeitssituationen systematisch zugeordnet werden können. Anschließend werden phasenspezifische allgemeine Merkmale kritischer Arbeitssituationen dargestellt.

##### **(1) Merkmalsstrukturen kritischer Arbeitssituationen**

Arbeitssituationen in den drei Phasen Vorbereitung, Lenkung und Auswertung lassen sich durch drei Dimensionen beschreiben. Diesen können spezifische Fertigungsfaktoren zugeordnet werden. Die Dimensionen sind wie folgt definiert.

- **Fertigungsbezogene Qualitätsanforderungen**

Anforderungen an die Qualität des gefertigten Teils und der gesamten Bearbeitung bilden zusammen die Fertigungsdimension der Qualitätsanforderungen. Also z.B. Anforderungen an Lage-, Form- Rundlaufgenauigkeiten und Oberflächengüten, aber auch an Rüst-, Bearbeitungs- und Werkzeugstandzeiten.

- **Fertigungsmittel**

Aktuelle physikalisch-gegenständliche Zerspanungsbedingungen bilden die Fertigungsdimension der Fertigungsmittel. U.a. Materialart und -beschaffenheit, Roh- und Fertigteilgeometrie, Spannsituation, Werkzeugarten und -beschaffenheiten sowie spezifische Maschineneigenschaften.

- **Prozeßführung**

Situationsabhängige Entscheidungen und Aktivitäten bilden die Fertigungsdimension der Prozeßführung. Maßnahmen der Prozeßführung betreffen u.a. Bearbeitungsschritte, Werkzeugwahl, Aufspannmodalitäten, Technologiewerte, Schnitzzustellungen und Schnittaufteilungen.

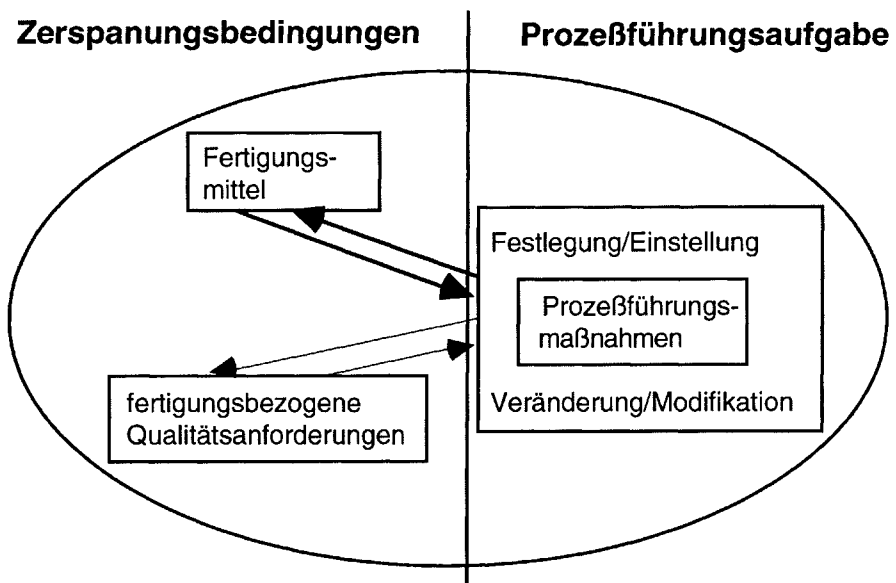
Der Zusammenhang dieser drei die Arbeitssituationen in der Zerspanung

bestimmenden Dimensionen besteht darin, daß zunächst die fertigungsbezogenen Qualitätsanforderungen und die Fertigungsmaterialien in ihren jeweiligen Ausprägungen ein Spektrum gesetzter, vorgegebener Bedingungen bilden. Bezogen auf die jeweilig aktuellen Bedingungen müssen diesen adäquate und aufeinander abgestimmte Faktoren und Maßnahmen der Prozeßführung zugeordnet werden.

Maßnahmen der Prozeßführung lassen sich in zwei Arten differenzieren: jene, die nur bei nicht begonnener oder unterbrochener Zerspanung eingestellt werden können, also Bearbeitungsabfolgen, Werkzeugwahl, Eingabe von Werkzeuglängen, -korrekturen oder Wahl des Kühlschmiermittels usw. und solche, die bei laufender Zerspanung vorgenommen werden. Letztere beschränken sich bei marktgängigen CNC-Werkzeugmaschinen auf Manipulationen von Drehzahl und Vorschub in einem vorgegebenen Spektrum mittels Overridepotentiometer sowie auf die Unterbrechung der maschinellen Bearbeitung mittels Ausschaltern.

Die jeweiligen Maßnahmen der Prozeßführung müssen aufeinander abgestimmt werden, sie beeinflussen und determinieren sich gegenseitig. Ein Beispiel ist die Interdependenz von Aufspannmerkmalen mit der Bestimmung adäquater Drehzahlen und Vorschübe. So müssen bei der Wahl der Technologiewerte z.B. Charakteristika der Aufspannung labiler Bauteile beim Fräsen oder niedrigere Spanndrucke bei rohrähnlichen Teilen mit geringen Unterschieden zwischen Innen- und Außendurchmesser berücksichtigt werden.

Mit den gewählten jeweiligen Prozeßführungsmaßnahmen wird die Zerspanung beeinflusst und manipuliert. Das Bild 2.5 veranschaulicht diesen Beeinflussungszusammenhang:



**Bild 2.5:** Wechselwirkung zwischen vorgegebenen Zerspanungsbedingungen und Prozeßführung

Grundlage der Entscheidung über Maßnahmen zur Prozeßführung sind also die vorgegebenen Fertigungsmaterialien und die Qualitätsanforderungen. Maßnahmen der Prozeßführung müssen in den Bearbeitungsphasen Prozeßvorbereitung, -lenkung und -auswertung auf die jeweilige Konstellation der Faktoren in den vorgegebenen Bereichen hin abgewogen und abgestimmt werden. Es müssen bei ruhender wie bei laufender maschineller Bearbeitung Zustände und Verlaufstrends der Fertigungsmaterialien in ihrer Bedeutung für das Erreichen der geforderten Qualität hin eingeschätzt werden. Auf diese Interpretation hin muß die Prozeßführung differenziert und dosiert werden. Die Pfeile symbolisieren diese erfassenden und beeinflussenden Anteile. Die fertigungsbezogenen Qualitätsanforderungen können prinzipiell nur eingeschränkt beeinflusst/verändert werden (sind daher dünn dargestellt), z.B. wenn Facharbeiter in Absprache mit Konstrukteur und Monteur bestimmte nicht notwendige Oberflächengüten/Toleranzen ändern.

Die beiden vorgegebenen Bereiche der Fertigung lassen sich als Fertigungsdimensionen auffassen und weiter ausdifferenzieren:

Die Dimension der **Fertigungsmittel** läßt sich als ein Kontinuum mit den beiden Polen "komplexe Zerspanung" und "einfache Zerspanung" beschreiben. Komplex werden Zerspanungen genannt, in denen aufgrund betrieblicher Erfahrungen die Wahrscheinlichkeit von Störungen oder Qualitätseinbußen höher sind. Zerspanungen werden komplex u.a. durch Verwendung:

- schwer zerspanbarer Werkstoffe wie Materialien mit hohem Anteil von Kohlenstoffen, sehr zähe Materialien wie Legierungen, oberflächenbehandelte Materialien ,
- "sensibler" Werkzeuge wie z.B. Bohrstangen oder Werkzeuge mit großer Länge,
- neuartiger Werkzeugmaterialien wie z.B. Keramik,
- von Aufspannungen z.B. "labiler" Bauteile (z.B. Schweißteile mit Hohlräumen),
- von Werkstücken mit komplexer Geometrie oder hohem Wertschöpfungsanteil,
- von Werkzeugmaschinen mit "Macken" z.B. infolge von Abnutzungerscheinungen oder Crash sowie
- bestimmter Bearbeitungen wie z.B. Tiefflochbohrungen.

Ein weiteres Kriterium des Pols "problematische Zerspanung" besteht im Fertigen von Einzelteilen (z.B. Prototypen) und Kleinserien.

"Einfache Zerspanungen" zeichnen sich demgegenüber aus durch einfach zerspanbare Werkstoffe wie z.B. sehr hochwertige, "reine" Materialien, durch geringe geometrische Komplexitäten.

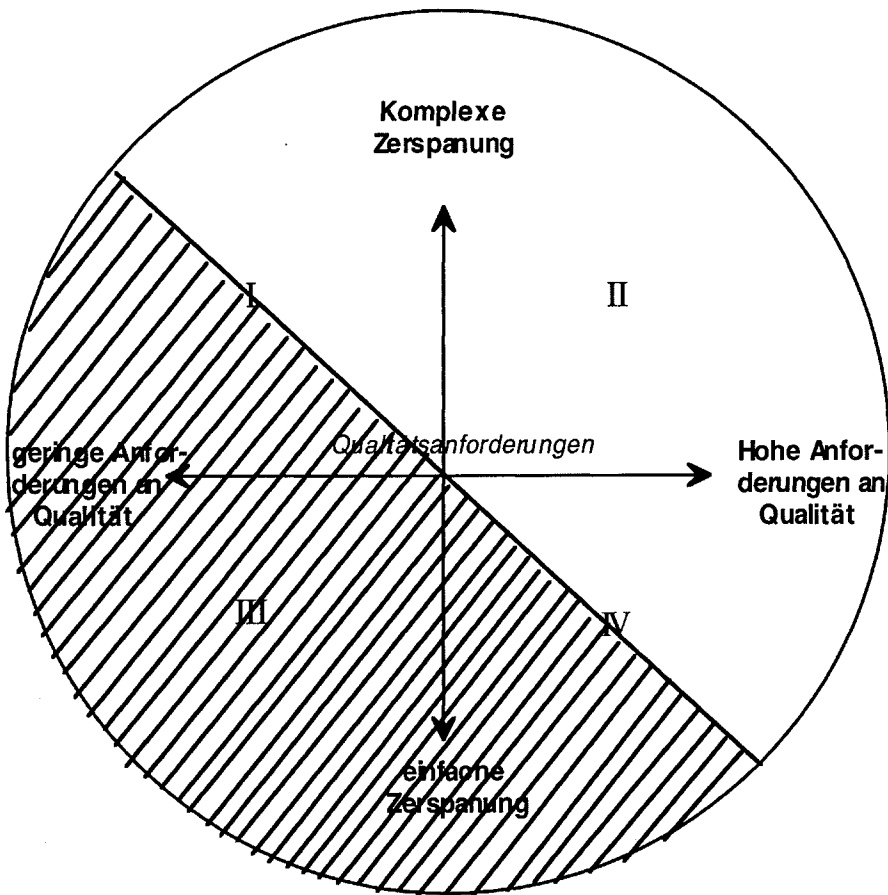
Die Dimension der **qualitätsbezogenen Zerspanungsanforderungen** läßt sich als ein Kontinuum mit den beiden Polen "geringe Anforderungen an Qualität" und "hohe Anforderungen an Qualität" beschreiben. Hohe Anforderungen zeichnen sich u.a. aus durch:

- technologisch eng tolerierte Paß-, Form-, Lage- und Rundlaufgenauigkeiten,

- durch hohe Oberflächengüten ,
- variabel an nachfolgende Bearbeitungen anzupassende Aufmaße und
- betriebliche Anforderungen nach kurzen Bearbeitungszeiten, hohen Werkzeugstandzeiten sowie hoher technischer Qualität.

Niedrigere Anforderungen zeichnen sich z.B. durch Freimaße oder grobe Oberflächengüten aus.

In Abhängigkeit von vorgegebenen Zerspanungsbedingungen wird die Zuordnung adäquater Maßnahmen zur Prozeßführung in unterschiedlichem Ausmaß kritisch für eine vorweg geplante und automatisch ablaufende Bearbeitung. Solchermaßen kritische Arbeitssituationen werden in der folgenden Grafik (Bild 2.6) vier Segmenten zugeordnet:



**Bild 2.6:** Segmente kritischer Arbeitssituationen

In der Grafik sind die beiden grundlegenden Dimensionen der spanabhebenden Bearbeitung dargestellt: auf der Horizontalen die Dimension der Qualitätsanforderungen und auf der Vertikalen die Dimension der Fertigungsmaterialien.

Mit der grafischen Darstellung der beiden Fertigungsdimensionen wird eine Einordnung und Klassifizierung kritischer Zerspanungssituationen möglich. Auf der Grundlage von Bedingungskonstellationen bestehend aus Koordinatenpunkten der beiden Achsen läßt sich die Wahrscheinlichkeit von Störungen einer vorweg geplanten und vollautomatisch ablaufenden Bearbeitung differenzieren. Die höchste Wahrscheinlichkeit kritischer Arbeitssituationen findet sich nach Einschätzungen von Facharbeitern und betrieblichen Experten in Arbeitssituationen im Segment II. In diesem Bereich sind Arbeitssituationen durch hohe Ausprägungen auf beiden Fertigungsdimensionen gekennzeichnet. Hier müssen die abgeleiteten Maßnahmen zur Prozeßführung sensibel und differenziert auf die jeweilige Konstellation abgestimmt und an kleinste Abweichungen im Prozeßverlauf angepaßt werden, um die geforderte hohe Qualität z.B. bei Einzelstücken zu erreichen. Arbeitssituationen in den Segmenten II und IV werden in ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit im Vergleich als geringer aber keineswegs als vernachlässigbar eingeschätzt, während Arbeitssituationen im Segment III am ehesten für eine vorweg geplante und automatisch ablaufende Bearbeitung geeignet scheinen. Diese Tendenz ist mit der Einteilung der Grafik in zwei Bereiche veranschaulicht. Bei dem Bereich, der als "vorwegplanbar" beschrieben ist, muß allerdings bedacht werden, daß dies desto eher der Fall ist, je mehr sehr hochwertige Werkstoffe, hochpräzise Maschinen bei gleichzeitig niedriger Qualitätsanforderung kombiniert werden. Dies findet sich in den Betrieben in dieser Form nicht, d.h. Situationsspektren an Maschinen variieren zwischen den beiden Bereichen "vorwegplanbar" und "kontextuell anzupassen".

## (2) Prozeßphasenspezifische Merkmale von kritischen Arbeitssituationen

Nach der Einordnung kritischer Arbeitssituationen in ein Klassifikationssystem über die einzelnen Bearbeitungsphasen hinweg, werden in einem zweiten Schritt phasenspezifische Merkmale unterschieden.

- Ein Merkmal kritischer Arbeitssituationen besteht in der Bestimmung adäquater Maßnahmen zur Prozeßführung in der Phase der **Prozeßvorbereitung**. Bereits kleine Abweichungen von Werkzeugbeschaffenheiten, Erwärmungsgraden der Maschine, Unregelmäßigkeiten in der Materialbeschaffenheit und in aktuellen Aufspannmodalitäten haben vor dem Hintergrund hoher Qualitätsanforderungen weitreichende Auswirkungen z.B. auf adäquate Technologiewerte. In der Berücksichtigung der Bedeutung aktueller Beschaffenheiten für eine anforderungsgerechte Zerspanung liegt ein Bestimmungsmoment kritischer Arbeitssituationen in der Phase der Prozeßvorbereitung.
- Ein weiteres Merkmal kritischer Arbeitssituationen besteht in Veränderungen der Fertigungsmittel in der Phase der **Prozeßlenkung** infolge

der maschinenspezifischen Werkzeug-Werkstück-Interaktion. Vibrationen können in Abhängigkeit einer Wechselwirkung aus Aufspannung, Teilgeometrie, Werkzeugart und -beschaffenheit und aktuellen Technologiewerten entstehen und Werkzeuge nutzen sich allmählich ab, wodurch sich sukzessive wiederum die Zerspanungsparameter verändern. Im Segment II der Grafik haben bereits kleine Veränderungen der Fertigungsmittel große Auswirkungen auf das Erreichen der geforderten Qualität. Als weitere Schwierigkeit kommt hinzu, daß Veränderungen einzelner Zerspanungsparameter "schleichend" oder fließend vonstatten gehen und ihre Bedeutung für die Qualität der Zerspanung infolge der Wechselwirkung mit anderen Bedingungen nicht exakt beschreibbar ist. In der Erfassung der Bedeutung aktueller Veränderungen des Wechselwirkungsgefüges im Zuge der fortlaufenden Zerspannung und in der Ableitung entsprechender Prozeßeingriffe liegt ein zweites Bestimmungsmoment kritischer Arbeitssituationen.

- Ein drittes Merkmal besteht in der Interpretation von Maß- und Qualitätsveränderungen sowie in der Einleitung adäquater Maßnahmen zur Qualitätssicherung in der Phase der **Prozeßauswertung**. Kritisch ist insbesondere die Rückführung auf Ursachen bei bestimmten Maßveränderungen. Solche Ursachen stehen in einem komplexen Wirkungsgefüge und müssen vor dem Hintergrund ihrer Bedeutung für die weitere Zerspannung z.B. eines folgenden Teils eingeschätzt und in Modifikationen von Einstellungen der Prozeßparameter umgesetzt werden. Diese nicht eindeutige Ursachenzuschreibung von Maßveränderungen und die Bestimmung adäquater Maßnahmen macht ein drittes Bestimmungsmoment aus.

Kritische Arbeitssituationen zeichnen sich zusammenfassend dadurch aus, daß im Laufe der Bearbeitung infolge der Vielzahl und der Wechselwirkung der Einflußfaktoren Zustände auftreten, die sich im vorhinein nicht exakt prognostizieren und die sich im Laufe der Bearbeitung in ihren Bedeutungen nicht definitiv erfassen lassen. Weiterhin kann auf deren Wirkzusammenhänge im Anschluß an die Bearbeitung nicht eindeutig rückgeschlossen werden und Bearbeitungszustände und -verläufe lassen sich algorithmisch nicht mit adäquaten Prozeßeingriffen verknüpfen. Die genannten Bestimmungsmomente kritischer Arbeitssituationen stellen insbesondere im Segment II der Grafik in Verbindung mit kleinen Stückzahlen eine Grenze für eine vorweg geplante und vollautomatisch ablaufende Bearbeitung dar. Die hohe Bedeutung der Bewältigung kritischer Arbeitssituationen für eine kostengünstige, flexible und qualitätstreue Fertigung in Anbetracht der betrieblichen Erfahrung, daß Automatisierungstechnik teuer und störanfällig blieb, führte zur Anerkennung der Leistungen von Facharbeit vor allem im Segment II, aber auch in den Segmenten I und IV der grafischen Darstellung. Diese Leistungen qualifizierter Facharbeit sind im folgenden Abschnitt näher beschrieben.

## 2.3 Leistungen und konstitutive Komponenten erfahrungsgeleiteter Arbeit

Das Können der qualifizierten Arbeitskräfte in der Werkstatt besteht darin, kritische Arbeitssituationen zu "meistern". Diese Leistungen sind im folgenden auf der Grundlage der empirischen Untersuchungen im CeA-Projekt analysiert und belegt (zur methodischen Vorgehensweise siehe Kapitel 2.6). Diese Analyse gestattet auch, konstitutive Komponenten zur Erbringung dieser Leistungen aufzuzeigen und wie es zu diesem Leistungsvermögen kommt.

### 2.3.1 Besondere Leistungen qualifizierter Arbeitskräfte mit CNC-Werkzeugmaschinen

In den Bearbeitungsphasen der Prozeßvorbereitung, -lenkung und -auswertung finden sich empirisch jeweils spezifische Leistungen und Effekte qualifizierter Facharbeit. Die Genealogie der Prozeßphasen ist in Anlehnung an das Arbeitshandeln von Facharbeitern entstanden. Zur Orientierung zunächst eine Zuordnung der nachfolgend näher ausgeführten Leistungen zu den Bearbeitungsphasen.

<b>Prozeßvorbereitung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorausschauendes Vermeiden und frühzeitiges Kompensieren kritischer Arbeitssituationen auch in folgenden Arbeitsgängen</li> <li>• Improvisieren und kompensieren bei der Entwicklung einer Bearbeitungsstrategie</li> <li>• Erzielen eines Optimums bezüglich Fertigungsaufwand, Teilefunktionalität und Qualitätsanforderung</li> <li>• Anpassen der Aufspannung an spezifische Maschinenbedingungen und Werkstückspezifika</li> <li>• Herantasten an Fertigmaße über kontextabhängige Schnittaufteilung und situationsabhängige Technologiewerte</li> </ul>
<b>Prozeßlenkung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimieren von Technologie- und Verfahrenswegen</li> <li>• Kompensation von Wegdiskrepanzen Soll/Ist</li> <li>• Interpretation von Indikatoren</li> <li>• Bewältigen und handling sich anbahnender Störungen</li> <li>• Wechsel von schwebender Hintergrundüberwachung zu fokussierter Aufmerksamkeit</li> </ul>
<b>Prozeßauswertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überprüfen der Werkstückqualität</li> <li>• Veranlassen adäquater Maßnahmen zur Qualitätssicherung</li> <li>• Optimieren und Aktualisieren von Fertigungsunterlagen</li> </ul>

**Bild 2.7:** Zuordnung von Leistungen zu Bearbeitungsphasen



## **(1) Leistungen qualifizierter Facharbeit in der Prozeßvorbereitung**

Leistungen qualifizierter Facharbeit in der Phase der Prozeßvorbereitung betreffen die

- Übernahme eines Fertigungsauftrags inclusive der Übernahme und Ergänzung fehlender Arbeitspapiere,
- Wahl einer fertigungsgerechten Bearbeitungsstrategie,
- Fertigungsbezogene Werkzeugwahl,
- Situationsadäquates Aufspannen/Einrichten der Maschine sowie
- Fertigungsbezogene NC-Programmerstellung bzw. -modifikation.

Die einzelnen Tätigkeiten in der Prozeßvorbereitung stehen in engem Zusammenhang. Hierzu eine allgemeingültige Aussage eines Facharbeiters: *"Anhand der Zeichnung mache ich mir ein Bild vom fertigen Werkstück und den nötigen Bearbeitungsschritten, damit verbunden sind Gedanken über die richtige Aufspannung. Daraus ergeben sich dann die Werkzeuge, die ich einsetze und mit welchem Durchmesser. Ich spanne dann auf und hole die Werkzeuge aus dem Lager. Diese vorbereitende Arbeit liegt noch vor dem eigentlichen Programmieren, erst hier gebe ich Werte für Drehzahl und Vorschub ein."*

Aus der Analyse der Facharbeitstätigkeit lassen sich spezifische Leistungen in der Zerspanungsvorbereitung ermitteln. Sie bestehen einerseits in der

- Bewältigung kritischer Arbeitssituationen, wie z.B. Vorgehen bei fehlenden Zeichnungen bzw. Zeichnungsangaben usw.

und andererseits

- im vorausschauenden Vermeiden und frühzeitigen Kompensieren kritischer Arbeitssituationen

für die nachfolgenden Phasen der Prozeßlenkung und -auswertung (siehe speziell zu den Leistungen von Facharbeitern bei der Arbeitsplanung und Programmerstellung Bolte 1993, S. 99 f.).

## **Übernahme eines Fertigungsauftrags und Finden einer fertigungsgerechten Bearbeitungsstrategie**

Das Vorgehen von Facharbeitern an CNC-Werkzeugmaschinen in der Phase der Prozeßvorbereitung zeichnet sich dadurch aus, daß Fachkräfte mit dem Erhalt der Fertigungszeichnung beginnend eine Umsetzungs- und Bearbeitungsstrategie entwickeln, die zunächst die Reihenfolge der einzelnen Bearbeitungsschritte betrifft. Die Festlegung der Bearbeitungsstrategie beinhaltet zuallererst die technologische Machbarkeitsprüfung. Es wird geprüft, in welchen Schritten das in der Zeichnung mit bestimmten Qualitätsanforderungen definierte Fertigteil mit den zur Verfügung stehenden Arbeitsmitteln gefertigt werden kann.

Mittels dieser Machbarkeitsprüfung können eine Reihe möglicher kritischer Arbeitssituationen bereits im vorhinein vermieden werden:

- bei fehlenden oder widersprüchlichen Maßangaben können über Meister oder beim zuständigen Konstrukteur die fehlenden Angaben eingeholt werden, oder aber sie werden direkt vom Facharbeiter aus den restlichen Angaben sowie aus dem bekannten Fertigungskontext erschlossen,
- bei nicht vorhandenen Werkzeugen werden Alternativwerkzeuge ausgewählt und in das NC-Programm integriert und
- bei fehlenden NC-Programmen oder im Falle einer nicht aktuellen Version können sofort entsprechende Ergänzungen vorgenommen werden.

Diese Leistung der Vermeidung kritischer Arbeitssituationen im vorhinein wird anhand des folgenden typischen Zitats eines Facharbeiters, der an der Maschine selbst das NC-Programm erstellt, deutlich:

*"Manchmal haben wir im Betrieb nicht das Werkzeug vorrätig, das ich für eine bestimmte Bearbeitung bräuchte. Dann muß man schon findig sein, daß die Maschine nicht lange stillsteht. Ich bastel mir dann Werkzeuge zusammen oder überlege mir eine Alternative von der Aufspannung her."*

Eine weitere Leistung besteht darin, für einen bestimmten Fertigungsauftrag ein Optimum aus Fertigungsaufwand und funktionalem Nutzen zu finden. So modifizieren Facharbeiter z.B. in Absprache mit dem zuständigen Konstrukteur und/oder Meister Toleranzen, wenn sie sich letztlich als nicht notwendig erwiesen oder sie verwendeten ein leichter zerspanbares und billigeres Material. Exemplarisch steht hierfür die Aussage:

*"Bei bestimmten Bearbeitungen steht der Fertigungsaufwand in keinem Verhältnis zu dem Nutzen. Dann mühe ich mich an einer Oberflächenqualität von RZ 100 oder an einer engen Toleranz ab und ich weiß von der Montage her, es ist gar nicht notwendig, weil es darauf nicht ankommt. Dann gehe ich schon mal zum Konstrukteur und wir ändern das."*

Ein Optimieren des Fertigungsaufwands - wie die benötigte Bearbeitungszeit - vor dem Hintergrund des funktionalen Nutzens und der benötigten Qualität findet sich umso eher, je stärker Facharbeiter Kommunikationsmöglichkeiten zu vor- und nachgelagerten Fachabteilungen haben und je mehr sie Vorschläge unterbreiten können.

### **Fertigungsbezogene Werkzeugwahl und situationsadäquate Werkstückeinrichtung**

Facharbeiter stimmen Werkzeugwahl sowie Art und Weise der Aufspannung auf die jeweilige Fertigung hin ab. Generell werden als Zielparameter formuliert: *"Mit einem Werkzeug möglichst viele Bearbeitungen"* und *"mit möglichst wenig Umspannungen auskommen"*. Das Gewicht dieser Zielvorstellungen resultiert aus den bei CNC- gegenüber konventionellen Werkzeugmaschinen höheren Maschinenstundensätzen sowie aus dem höheren Zeitbedarf beim Umspannen infolge der Bestimmung und Übernahme der Werkstückkoordinaten in die Steuerung. Ein leitendes Kriterium stellt also die benötigte Fertigungszeit dar. Allerdings wird dieses Ziel immer vor dem Hintergrund der fertigungstechnologischen Anforderungen gesehen und umgesetzt. Stellvertretend hier die Aussage:

*"Bei manchen Teilen ist es von der Aufspannung und der Qualität eben notwendig, daß es ein zweites Werkzeug zum Schlichten gibt. Klar, das wird in der Arbeitsvorbereitung nicht so gern gesehen, um so weniger Werkzeuge, um so schneller geht es. Aber manchmal ist es nicht zu vermeiden, um die geforderte Qualität zu erreichen."*

Beim Drehen ist die Frage der Aufspannung besonders bei der Wahl des Spanndrucks und bei der Frage des Ausdrehens weicher Backen zum Einspannen bearbeiteter Werkstücke relevant (Golinski 1992, S. 38 f.). Qualifizierte Facharbeiter nutzen beim Aufspannen sowohl beim Drehen wie beim Fräsen den zur Verfügung stehenden Maschinenraum *"auf den Zentimeter aus"*:

*"Man muß das wirklich sehen, wie komme ich da ran mit der Spindel? Besonders bei sehr langen Werkstücken und merkwürdigen Formen muß man das wirklich ausprobieren, da kommt es auf jeden Zentimeter an."*

Eine Leistung besteht daher in einem Anpassen der Aufspannung an die spezifischen Maschinenbedingungen, hier der Werkzeuge und der Verfahrenswege. Darüber hinaus kommt es darauf an, die Befestigungspunkte und den Spanndruck so zu wählen, daß sich einerseits das Werkstück nicht verzieht und andererseits zu vermeiden, daß sich im Laufe der Zerspannung Vibrationen aufbauen. Dieses typische Dilemma wird im Zitat eines Facharbeiters aus dem Bereich Fräsen deutlich und gilt für den Bereich Drehen ähnlich, z.B. beim Einspannen dünnwandiger rohrähnlicher Werkstücke:

*"Gerade bei Hohlteilen muß man aufpassen, daß man das Werkstück nicht verspannt, daß man es nicht zu stark runterdrückt. Andererseits muß man auch sehen, daß sich keine Vibrationen aufbauen. Die Zeit, die man sich bei der Aufspannung nimmt, die kommt schließlich immer wieder raus, wenn das Werkstück in der geforderten Qualität fertig wird."*

Eine Leistung beim Aufspannen besteht somit in der fertigungsgerechten Wahl der Befestigungspunkte und des jeweiligen Spanndrucks vor dem Hintergrund der Einhaltung der geforderten Qualität und einer vertretbaren Bearbeitungszeit. Eine wesentliche Bedingung zeigt sich darin, daß mit der Aufspannung etliche Parameter für die nachfolgende Zerspannung festgelegt sind und erst dort wirksam werden.

## **Fertigungsbezogene NC-Programmerstellung bzw. -modifikation**

Inhalte der NC-Programmerstellung betreffen die Festlegung von Maßparametern sowie Verfahrenswegen und die Vergabe von Schnittwerten. Die Bestimmung von NC-Maßparametern zur Sicherstellung eines maßhaltigen Fertigteils und die Vergabe fertigungsadäquater Schnittwerte wurden in Abschnitt 2.2 als besonders kritische Arbeitssituation beschrieben.

Eine Leistung qualifizierter Facharbeiter besteht hier in der Vergabe solcher Maßparameter, daß z.B. mittels Aufmaßen Veränderungen des Werkstücks durch nachfolgende Bearbeitungen aufgefangen und zusätzlich nachfolgende Bearbeitungen wie z.B. Schleifen unterstützt werden.

Beobachtungen des Arbeitshandelns von Facharbeitern zeigen darüber hinaus, daß die NC-Maßparameter beim Fertigen von Passungen in Ab-

hängigkeit von aktueller Temperatur des Kühlschmiermittels, der Erwärmung von Mechanik und Spindel der Maschine (*"es dauert dann bis zu zwei Stunden, bis Maschine und Hydraulik die Betriebstemperatur haben, daß die Passung hält"*) sowie der Größe und Toleranz der Passung variieren, um das Fertigmaß zu erreichen. Die Leistung von Facharbeitern bei der Bestimmung der für eine bestimmte Maßanforderung adäquaten NC-Maßparameter besteht darin, daß sie Grobmaße vergeben, die Möglichkeiten eröffnen, durch ein herantastendes Vorgehen im Moment der Spanabnahme auch die vorab nicht bestimmbareren Einflußgrößen erfassen und berücksichtigen zu können. Dies Vorgehen wird als "Herantasten" bezeichnet, wo man immer "auf der sicheren Seite" bleiben müsse. Hierfür beispielhaft die Schilderung eines Facharbeiters:

*"Bei der Einstellung teurer Teile mit hoher Genauigkeit gehe ich nicht sofort auf Fertigmaß, sondern stelle zunächst ein Zehntel Aufmaß zu. Dann taste ich mich langsam nach Messung an das Endmaß heran und kann so auch die kleinen Unregelmäßigkeiten von Maschine, Material oder Werkzeug ausgleichen und das Maß erreichen."*

Die situationsbezogene Vergabe der Technologiewerte bedeutet eine weitere Leistung qualifizierter Facharbeit. Diese Leistung liegt dabei in der Anpassung der Drehzahlen und Vorschübe an die jeweils aktuell gültigen Einflußgrößen bestehend aus

- den Materialeigenschaften des Werkstücks (u.a. Härte und Zugfestigkeit),
- der Art, dem Zustand, dem Durchmesser und dem Schneidstoff der Werkzeuge,
- den Charakteristika der Aufspannung mit den gesetzten Spannmitteln (wobei insbesondere die In-/Stabilität eine Rolle spielt),
- den Maschinencharakteristika, hier u.a. die Maschinen- und Antriebsleistungen,
- der gewählten Schnittiefe ,
- der jeweiligen Bearbeitungsart (z.B. Schruppen, Schlichten usw.) und
- der geforderten Qualität.

Die Technologiewerte werden somit an die aktuellen Situationsfaktoren angepaßt. Einen Eindruck von der Bandbreite der Variation der Schnittwerte vermittelt stellvertretend der Erfahrungsbericht eines Facharbeiters:

*"Drehzahl und Vorschub sind je Material und Werkzeug immer anders. Ich arbeite mit ungefähr 10 bis 15 verschiedenen Materialien. Dazu gehören Stahl, Guß, C15, C45, C60, Legierungen, Kunststoffe, Kupfer, Aluminium usw. Weiterhin arbeite ich mit ungefähr 10 bis 15 verschiedenen Werkzeugen. Dazu gehören Bohrwerkzeuge, Reiber, Schaftfräser, Schruppfräser, Scheibenfräser, Nutenfräser, Langlaufräser, Sägeblattfräser und Spezialwerkzeuge. Die Fräser haben unterschiedliche Durchmesser, das reicht von 2 mm bis 14 mm. Bei 10 bis 15 Werkzeugen und den verschiedenen Durchmessern ergeben sich dann ca. 100 mögliche Einsätze. Allerdings brauche ich nicht 100 verschiedene Werkzeuge gleichmäßig zu beachten, es sind etwa 40 die am häufigsten genutzt werden."*

Entsprechend den jeweiligen situativen Umständen wird eine Kombination von Drehzahl und Vorschub gefolgert. Diese Kombination repräsen-

tiert ein Optimum aus den Zielparametern der Qualität des herzustellenden Werkstücks, der Werkzeugstandzeit und der Bearbeitungszeit. Die Gewichtung der einzelnen Zielparameter differenzieren Facharbeiter je nach den spezifischen Auftragsanforderungen und -umständen:

*"Je nach Qualitätsanforderung und Termindruck variere ich die Schnittwerte auch bei sonst gleicher Ausgangssituation von Maschine, Aufspannung und Werkzeug. Wenn z.B. ein Teil besonders eilt und ich möglichst schnell fertig werden muß, dann muß man eben Abstriche beim Werkzeugverschleiß und der Oberflächenqualität in Kauf nehmen."*

Bei der Vergabe der Technologiewerte berücksichtigen Facharbeiter somit die jeweiligen Ziele und Anforderungen der Bearbeitung neben den gegebenen aktuellen Fertigungsbedingungen. In die Zielparameter fließen betriebliche Prioritäten bzw. deren Interpretation und Umsetzung entscheidend mit ein. Die letztlich resultierenden Schnittwerte sind dann in hohem Maße an Fertigungs- und Anforderungsspezifika angepaßt und repräsentieren einen Leistungsinhalt qualifizierter Facharbeit. Nach unseren Befunden besteht z.B. im Bereich des Formenbaus und der Einzel- bzw. Kleinserienfertigung eine Orientierung an der Maxime "Qualität vor Bearbeitungszeit".

Die im NC-Programm vorab eingestellten Schnittwerte verstehen die Facharbeiter selbst als vorläufige und zu verändernde Werte (Böhle u.a. 1993, S. 17). An dieser Stelle wird ein weiterer Leistungsaspekt bei der Vergabe der Technologiewerte deutlich, und zwar

im vorausschauenden Einplanen des Auftretens unplanbarer, unvorhersehbarer Einfluß- und Störgrößen im Moment des Spanabbaus.

Dies wird anhand des folgenden für die Bearbeitungsverfahren Drehen und Fräsen charakteristischen Zitats deutlich:

*"In der Regel stimmen die von mir eingestellten Drehzahlen und Vorschübe. Aber es kann immer etwas passieren, was nicht voraussehbar ist, z.B. können sich Schwingungen aufbauen oder zusätzlich verschleißt das Werkzeug. Das hat Einfluß auf die Oberflächenqualität. In besonders schwierigen Situationen stelle ich die Schnittwerte etwas niedriger ein und verändere sie dann beim Programmablauf nach oben, wenn ich sehe, wie es läuft."*

In der bewußt offengehaltenen Möglichkeit des Nachregulierens vorgeingestellter Schnittwerte wird offensichtlich, daß Facharbeiter die Bewältigung des Auftretens kritischer Arbeitssituationen in der Phase der Prozeßlenkung bereits vorausschauend vorbereiten. Sie ermöglichen in der Phase des Vorbereitens ein sukzessives Herantasten an erst im Zerspanungsverlauf offensichtlich werdende und nur für eine bestimmte Situationskonstellation gültige "optimale" Schnittwerte.

Im Zusammenhang mit dem Einplanen von Handlungsspielräumen in nachfolgenden Bearbeitungsphasen ist ebenfalls ein Festlegen von Programmunterbrechungen und Meßschritten bei der NC-Programmerstellung zu sehen. Diese Möglichkeiten des Bestimmens von Prozeßauswertungen und Unterbrechungen während des Automatikbetriebs setzen Facharbeiter gezielt ein, um unvorhersehbare Abweichungen der Bearbeitungen vom "Normallauf" rechtzeitig erfassen und korrigieren zu können.



## (2) Leistungen qualifizierter Facharbeit in der Prozeßlenkung

Leistungen qualifizierter Facharbeit während der programmgesteuerten Bearbeitung betreffen die Lenkung und Leitung der Zerspanung mit dem Ziel einer anforderungsgerechten Werkstückerstellung. In dieser Phase lassen sich Leistungspotentiale identifizieren, die ein Optimieren von Verfahrenswegen und Schnittwerten und solche, die den Umgang mit sich anbahnenden Störungen betreffen.

### Optimieren von Verfahrenswegen und Schnittwerten

Ein Optimieren von Verfahrenswegen und Schnittwerten ist für Facharbeit charakteristisch im Zuge des Einfahrens neu erstellter oder modifizierter NC-Programme. Bei geometrisch besonders anspruchsvollen Bearbeitungen und bei besonders labilen Aufspannungen erfolgt häufig ein sogenannter "Trockenlauf", d.h. ein Einfahren des Programmes "in der Luft" mittels Nullpunktverschiebung. Als Begründung wurde geäußert:

*"Auf die grafischen Programmtestverfahren kann man sich nicht hundertprozentig verlassen. Außerdem ist die Grafik bei unseren Maschinen so unscharf und ungenau, daß ich manchmal Programmierfehler nicht erkennen kann."*

Dieses Vorgehen trägt dem Umstand Rechnung, daß sich in vielen Betrieben noch sehr häufig Maschinen mit kleinen Bildschirmen und niedrigen Bildschirmauflösungen finden und infolgedessen in der Simulation des Programmablaufs zum Teil geringe, aber bedeutsame Konturverletzungen nicht feststellbar sind. Anhand des Trockenlaufs können Facharbeiter grobe Konturverletzungen z.B. durch Tippfehler bei der Eingabe der Verfahrenwege und der Werkzeuglängen und -durchmesser erkennen. Außerdem ist auf diese Weise ein Überprüfen der fertigungsadäquaten Abfolge der Bearbeitungsschritte möglich.

In der Praxis findet sich anschließend an den "Trockenlauf" sowie bei "einfachen" Zerspanungen oder unter hohem Termindruck auch ohne "Trockenlauf" ein satzweises Abfahren des NC-Programms (beim Heranfahren an die jeweiligen Maße) mit verminderter Geschwindigkeit. Dies ermöglicht ebenfalls ein Überprüfen und Korrigieren des kodierten Zerspanungsablaufs. Facharbeiter erkennen anhand eines ständigen Vergleichs zwischen den auf dem Bildschirm angezeigten NC-programmbezogenen Ist- und Restwegen mit den tatsächlichen Abständen des Werkzeugs von Werkstück und Spannmitteln, ob die eingegebenen Verfahrenwege der tatsächlichen Situation entsprechen. Die Leistung besteht hier im Erkennen von Diskrepanzen zwischen Wegverhältnissen, die mittels Programmcodes beschrieben sind und den tatsächlichen Wegen im Innenraum der Maschine.

Abweichungen und damit die Gefahr von Kollisionen sowie ein häufig rechtzeitiges Eingreifen und Korrigieren durch Facharbeiter gehören zur Alltagssituation. Exemplarisch wird diese Leistung mit der Schilderung dokumentiert:

*"Beim Einfahren vergleicht man immer die Anzeigen der Restwege mit den Abständen des Werkzeugs vom Werkstück. Z.B. hat ein Fräser noch 100 mm Restweg in einer Achse, steht aber nur noch 50 mm vor der Werk-*

*stückkante. Das sieht man rein optisch, daß da vom Restweg her etwas nicht stimmt. Man hat da mit der Zeit so einen Maßstab im Blick entwickelt."*

Über ein solches Überprüfen und Korrigieren programmierter Verfahrenswege hinaus findet sich in der Praxis ein Optimieren der Verfahrenswege in Richtung einer Einsparung *"unnützer"* und *"nicht notwendiger"* Wege. Es werden Verfahrenswege eingespart, indem z.B. dichter über dem Werkstück verfahren wird oder es erweisen sich ganze Bearbeitungsschritte als nicht notwendig. Erreicht wird damit eine Optimierung der Bearbeitungszeit.

Aktuelle Einflußfaktoren, die mit der Spanabnahme auftreten, können erst direkt während des laufenden Prozesses ermittelt, bewertet und ggfs. kompensiert werden. Solche Einflußgrößen lassen sich in der grafischen Simulation nicht erfassen, da diese lediglich die im NC-Programm beschriebenen Abläufe abbilden und Wirkverhältnisse der aktuellen Zerspannung nicht einbeziehen kann. Ein weiterer Leistungsinhalt qualifizierter Facharbeit besteht in der Phase der Prozeßlenkung in der Anpassung und Festlegung der Technologiewerte an die aktuell gültigen Wirkverhältnisse der jeweiligen Zerspannung (Böhle 1992, S. 46 f; Bolte 1993, S. 145 f.). Während des Programmlaufs nehmen Facharbeiter Veränderungen und Modifikationen in den Schnittgeschwindigkeiten mittels Manipulationen mit dem Overrideregler vor. Die mit der Schnittwerteoptimierung zusammenhängenden Leistungsaspekte demonstriert folgende Aussage eines Facharbeiters:

*"Ob die eingestellten Geschwindigkeiten stimmen, kann man sehen, hören und fühlen, man nutzt verschiedene Orientierungspunkte. Dazu gehören:*

- *Farbe und Form der Späne die bei zu hoher Geschwindigkeit infolge der Hitzeentwicklung immer mehr blau werden, bei zu geringer Geschwindigkeit entstehen Wickel- und Fließspäne, aber auch*
- *Leistungsanzeige der Maschine, sie gibt z.B. beim Anfahren und beim Bohren Auskünfte, wie weit eine Erhöhung der Geschwindigkeit noch möglich ist, ebenso*
- *Geruchsveränderungen des Kühlschmiermittels oder Rauchentwicklung durch verdampfendes Wasser bei zu hoher Hitzeentwicklung, manchmal auch*
- *Tasten und Fühlen von Schwingungen auf dem Werkstück, auf der Platte oder der Maschinenabdeckung. Daran kann man auf Erschütterungen und Bewegungen des Werkzeugs rückschließen. Schließlich*
- *vor allem aber Geräusche, wenn Metall auf Metall trifft. Je kleiner der Duchmesser des Werkzeugs und je größer die Geschwindigkeit, desto höher und pfeifender werden die Geräusche.*

Diese Indikatoren der Zerspannung informieren Facharbeiter über Zustand und Verlauf der Bearbeitung. Sie setzen sie in die Lage, Drehzahl und Vorschub den jeweiligen Zerspanungsbedingungen unter Berücksichtigung der jeweiligen Bearbeitungsanforderungen sukzessive anzupassen.

Die Leistung der Facharbeiter besteht hier in der Erkennung der Bedeutung auftretender Indikatoren in ihren teils diffus verlaufenden und nicht eindeutig erfaßbaren Abstufungen für die Qualität der Bearbeitung und in Zuordnungen jeweils adäquater Schnittwerte.



eindeutig erfaßbaren Abstufungen für die Qualität der Bearbeitung und in Zuordnungen jeweils adäquater Schnittwerte.

Die resultierenden Werte stellen fertigungsgerechte Schnittwerte dar. Bei NC-Programmen, die in vorgelagerten Abteilungen erstellt wurden, mußten in der Praxis wesentlich häufiger Optimierungen der Schnittwerte vorgenommen werden, als wenn die NC-Programme von den Facharbeitern selbst erstellt wurden. Durch die Einbeziehung der aktuellen Werkstück-, Werkzeug-, Maschinen- und Aufspannparameter sind Facharbeiter in der Lage, fertigungsangemessenere Schnittwerte bereits bei der NC-Programmerstellung zu vergeben. Wenn Facharbeiter die Verfahrenswege und Schnittwerte hier selbst bestimmen, so würden diese nach ihren eigenen Einschätzungen in ca. 80-95% der Fälle *"ziemlich genau stimmen"*. Die restlichen 5-20% beziehen sich auf das Auftreten unvorhersehbarer Einflußgrößen im Moment des Werkzeugeingriffs und werden dann entsprechend angepaßt. Zur Veranschaulichung der Bewältigung einer ungeplant auftretenden Störsituation ein Zitat eines Facharbeiters aus dem Bereich Fräsen, der ein ca. zwei Meter langes Werkstück mit einer komplexen Geometrie aufgespannt hatte und das NC-Programm einfuhr:

*"In einem Fall hat ein nicht gut unterstützter Teilarm angefangen zu vibrieren, das habe ich gehört und habe dann den Schub erhöht. Das hat praktisch die Drehzahl nicht verändert, aber mit dem erhöhten Schub drückt der Fräser das Werkstück stärker runter auf den Tisch. Dann hörten die Vibrationen auf."*

### **Erfassen und Kompensieren sich anbahnender Störungen**

Eine weitere wichtige Leistung qualifizierter Facharbeit in der Phase der Prozeßlenkung besteht in der Erkennung und der Reaktion auf sich anbahnende Störungen. Dieser Leistungsinhalt bezieht sich auf einen überwachenden Abschnitt der programmgesteuerten Zerspanung, der sich an die Optimierung der Verfahrenswege- und Schnittwerte anschließt. Letztere sind dann zwar prinzipiell gut an die Zerspanung angepaßt, allerdings können sie auch aufgrund auftretender Materialunregelmäßigkeiten, zunehmendem Werkzeugverschleiß und veränderlicher Maschinencharakteristika im Laufe der Zerspanung immer weniger *"stimmen"*. Die Leistung der Facharbeiter besteht hier in einem so frühzeitigen Erkennen von Abweichungen, daß Störungen vorausschauend kompensiert und vermieden werden können:

*"Wenn z.B. das Werkzeug abgenutzt ist, verändert sich das Geräusch. Ich höre dann, ob trotzdem die Geschwindigkeit stimmt und ob Veränderungen durch den Abnutzungseffekt bewirkt worden sind. Auch die Leistungsanzeige kann mir bei der Beurteilung helfen zu erkennen, ob ein Plättchen stumpf wird."*

Dem Erkennen und Vermeiden von Störungen bereits im Anbahnungsstadium liegt somit wie beim Optimieren der Verfahrenswege und Schnittwerte eine ähnliche Vorgehensweise zugrunde, so daß Facharbeiter die im Prozeßverlauf entstehenden Indikatoren für die Qualität der weiteren Zerspanung hin deuten können. Sie können den Zustand der Werkzeuge, d.h.

ihren Abnutzungsgrad erkennen und schätzen dann ein, wie lange ein bestimmtes Werkzeug noch *"durchhält, ohne zu brechen"*:

*"Das kann man mitkriegen, wenn das Werkzeug stumpf wird und brechen kann. Bei kleinen Durchmessern ist es schwerer. Aber wenn ich etwas merke, dann entscheide ich, ob und wann ich das Werkzeug wechsele, ob ich eine Bearbeitung vielleicht mit verringerten Schnittwerten noch zu Ende fahren kann oder ob ich besser sofort auswechsele."*

Bei der Frage des Auswechselns von Werkzeugen findet sich somit ein Abwägen und Optimieren des Aufwands, d.h. der benötigten Zeit sowie den Umständen des Wechsels - z.B. hinsichtlich der Schwierigkeit des Wiederanfahrens des NC-Programms an der bestimmten Stelle - vor dem Hintergrund der Bedeutung für die resultierende Qualität. Auch der Aufwand, z.B. einen abgebrochenen Gewindebohrer hinterher wieder aus dem Material herauszubelösen, spielt in diese Optimierung hinein.

Allerdings überwachen Facharbeiter nicht die Fertigung der gesamten Losgröße mit gleichmäßig hoher Intensität, *"das macht man nur in ausgewählten Situationen so genau"*. Die intensive Überwachung führt nach den übereinstimmenden Aussagen der in die Untersuchung einbezogenen Facharbeiter zu einer Überlastung der Aufmerksamkeit. Diese müsse immer auf einem sehr hohen Niveau gehalten werden, auch wenn über längeren Zeitraum *"nichts"* passiere. Angesprochen ist hier die Belastungsdimension der Vigilanz. Um Müdigkeitserscheinungen zu kompensieren, entwickeln Facharbeiter eine besondere Leistung, und zwar in dem situationsbezogenen Wechsel zwischen einer gleichsam "schwebenden Hintergrundkontrolle" und einer intensiven und fokussierenden Aufmerksamkeit (siehe ausführlicher Carus u.a. 1992, S. 52 f.).

Unsere Befunde zeigen ein deutliches Hinwenden der ganzen Person zur Maschine und Zerspanung in den Situationen, in denen Facharbeiter aufgrund des Bearbeitungsabschnittes ein Auftreten kritischer Stellen - aufgrund ihrer Erfahrung - eher für möglich hielten. Dies sind u.a. Bearbeitungsabschnitte, wie die des letzten Schnitts bei Passungen oder wenn "sensible" Werkzeuge eingewechselt werden wie z.B. lange Bohrstan-gen. Ebenfalls fand sich eine Fokussierung der Aufmerksamkeit, wenn Facharbeitern im Rahmen der Hintergrundkontrolle Unregelmäßigkeiten in der Zerspanung auffielen und sie daraufhin die Ursache gezielt herauszufinden suchten. Die Hintergrundkontrolle zeichnet sich durch ein orientierendes Mitverfolgen des Zerspanungsablaufs aus. Die Orientierung erfolgt hauptsächlich über Geräusche, z.B. wenn ein neues Werkzeug eingewechselt wird. Die Leistung liegt hier in der Fähigkeit der Facharbeiter, quasi *"mit einem Ohr"* die Zerspanung zu verfolgen und bei bemerkten oder erwarteten Unregelmäßigkeiten zu einer intensiven Zuwendung zum Prozeß überzuwechseln.

### **(3) Leistungen qualifizierter Facharbeit in der Prozeßauswertung**

Leistungen qualifizierter Facharbeit in der Phase der Prozeßauswertung finden sich im

- Überprüfen der Teilequalität verbunden mit der evtl. notwendig werdenden Einleitung adäquater Maßnahmen zur Qualitätssicherung sowie im
- Optimieren der Fertigungsunterlagen anlässlich der Rückdokumentation in vorgelagerte Abteilungen.

### **Überprüfen der Qualität und Einleiten adäquater Maßnahmen zur Qualitätssicherung**

Zur Dokumentation wesentlicher Leistungen bei der Überprüfung der Maßhaltigkeit ist beispielhaft folgende Aussage einer Fachkraft angeführt: *"An dem hergestellten Werkstück stellt man durch optisches Betrachten und Fühlen der Oberflächenbeschaffenheit sowie dem Prüfen der Maßhaltigkeit mit entsprechenden Meßwerkzeugen die Qualität fest. Die Prüfung der Produktqualität erfolgt einmal durch Messen des ersten Werkstücks im Los. Danach prüft man nur jedes dritte oder fünfte Teil und dabei auch nur noch einzelne Meßpunkte, auf die es eben ankommt. Wieviel man prüft und wo, bedarf auch der Erfahrung".*

Leistungen betreffen somit die Auswahl der zu messenden Werkstücke und die Auswahl geeigneter Meßpunkte. Bei Beobachtungen vor Ort fanden sich Werkstücke, wie z.B. hochgenaue Messerbalken, bei denen bestimmte Meßpunkte jedesmal nach Ablauf der Fertigung erhoben wurden und andere, die nur in bestimmten Abständen nachkontrolliert wurden. Facharbeiter entwickeln hier eine Art bearbeitungsspezifisches Stichprobenverfahren, mit Hilfe dessen sie sicherstellen, daß sie anbahnende Toleranzüberschreitungen bereits anhand von Tendenzen in Veränderungen der Lage von Fertigmaßen innerhalb der Toleranz feststellen können. Es fanden sich in den Untersuchungen interindividuell variierende Orientierungsmuster bei den Facharbeitern. Während einige berichteten, daß sie bei ihren Maßen immer eher am unteren Ende der Toleranz liegen und darauf achten, daß sie nicht nach unten aus der Toleranz fallen, lagen andere überwiegend eher am oberen Ende der Toleranz. Diese individuellen Muster reduzieren nach unseren Beobachtungen die zu beachtenden Einflußfaktoren, die bei der Eingabe von Werkzeugmaßkorrekturen im Werkzeugspeicher zu berücksichtigen sind. Mit Hilfe solcher Veränderungen werden Tendenzen in Maßveränderungen vorausschauend kompensiert.

Als weiterer Leistungsaspekt im Zusammenhang mit der Überprüfung der Teilequalität fiel auf, daß Facharbeiter u.a. anhand der *"Rauigkeit der Oberfläche und an dem Zustand der Kanten des Werkzeugs erkennen, ob Drehzahl und Vorschub zusammenpassen"*. Die Leistung liegt darin, von einer bestimmten Rauigkeit einerseits auf die Ursachen, hier auf eine bestimmte zugrundeliegende Schnittwertkombination rückzuschließen und andererseits eine qualitätsverbessernde Veränderung dieser Schnittwerte bei der Einstellung der Bearbeitung des nächsten Teils zu bestimmen.

Die Überprüfung der Produktqualität stellt bereits für sich einen wesentlichen Leistungsinhalt qualifizierter Facharbeit dar. Facharbeiter sind in der Lage, u.a. Einflüsse der Aufspannung und der Werkstück erwärmung, die z.B. einen reversiblen Verzug des Werkstückes im Moment des Heraus-

nehmens zur Folge haben können, beim Messen zu berücksichtigen. Es ergeben sich Unterschiede, ob in der Maschine oder außerhalb gemessen wird. Stellvertretend sei hier das Verhalten eines Facharbeiters angeführt, der bei einem bestimmten Werkstück im letzten Meßschnitt einer Passung immer etwas unterhalb der Toleranz blieb, da sich nach seiner Erfahrung dieses Teil dann nach dem Herausnehmen aus der Maschine genau in der Mitte der Maßtoleranz befand. Facharbeiter sind offenbar in der Lage, solche Einflußgrößen bei der Bewertung von Messungen sowie bei Entscheidungen über die Maßhaltigkeit zu berücksichtigen.

Bei der Überprüfung der Produktqualität beziehen Facharbeiter des weiteren gezielt externe Kontrolleure oder auch Kollegen in die Messung ein. Dies konnte in Fällen beobachtet werden, wenn Facharbeiter sicherstellen wollten, daß sie beim Nachprüfen nicht *"blinden Flecken"* aufsitzen. Dies könne leicht bei besonders wertvollen, aufwendigen oder auch bei Teilen, die so *"einfach aussehen, daß man leicht einen Fehler macht"* passieren. Dies Vorgehen basiert auf der Erfahrung von Fachkräften, daß eine Gefahr in falschen Interpretationen von Zeichnungsmaßen besteht, die konsequenterweise auch beim abschließenden Messen nicht auffällt. Ein Beispiel ist das seitenverkehrte Fertigen. Durch das Hinzuziehen von Kollegen oder anderen Mitarbeitern beschaffen sich Facharbeiter eine unabhängige Referenz.

Weitere Leistungsinhalte fanden sich in qualitätssichernden Maßnahmen anlässlich von Ausschußfertigung:

*"Wenn wirklich mal was danebengegangen ist, z.B. ist ein Gewindebohrer abgebrochen oder ein Teil Ausschuß ist, dann kann ich immer noch mal etwas retten, wenn das Werkstück sehr wertvoll ist. Ich gebe das Teil zum Ausglühen des Gewindebohrers, oder man kann auch eine Buchse einziehen und dann das Maß nochmals fertigen. Wenn es wirklich Ausschuß ist, kann man auch den Meister oder Konstrukteur direkt fragen, ob sie das Teil so noch verwenden können."*

Die Befunde belegen, daß Facharbeiter in der Lage sind, einen bestimmten Anteil von Ausschußfertigung durch Nachbehandlungen verwendbar zu machen und/oder über Absprachen mit Verantwortlichen die Gewährleistung der Funktionalität zu klären. Hier wird zwischen dem Aufwand, ein Teil neu zu fertigen und dem Aufwand, es nachzubehandeln bzw. zu klären, ob es auch so den Anforderungen genügt und weiterverwendet werden kann, jeweils abgewogen. Wichtige Aspekte sind Gewährleistung der Funktionalität, Bearbeitungszeit und Kosten. Mit diesen qualitätssichernden Maßnahmen von Facharbeitern ist ein die Fertigungsorganisation entlastendes und flexibel haltendes Leistungs- und Optimierungspotential identifiziert.

In eine ähnliche Richtung deutet ebenfalls die Unterstützung, die Facharbeiter bei der Instandhaltung der Maschine leisten. Einen Teil der Maschinenstörungen können sie selbst beheben, wenn es um relativ "kleine" Störungen geht, wie z.B. ein Neujustieren der Werkzeugspindel im Anschluß an Crash. Einen anderen Teil von Störungen können sie soweit kompensieren, daß z.B. in Zeiten mit hohem Fertigungsdruck ein nicht optimal arbeitender Werkzeugwechsler manuell in die richtige Position gebracht wird. Dies hat den Effekt, daß Reparaturzeiten und -aufwän-

de in bestimmten Grenzen auf die jeweilige Werkstattsituation abgestimmt werden können. Weiterhin können Facharbeiter die Reparaturtätigkeit von Monteuren und Steuerungstechnikern unterstützen, indem sie ihre Erfahrungen mit der Maschine einbringen.

### **Fertigungsoptimierte Rückdokumentation**

In der Optimierung der Materialien und Unterlagen der durchgeführten Bearbeitung im Rahmen der Rückdokumentation liegt ein weiterer Leistungsinhalt von Facharbeitern in der Phase der Prozeßauswertung. Die Dokumentation von Fertigungsaufwänden, Aufspannsituationen in Einrichteblättern und die Archivierung optimierter NC-Programme macht eine realistische Kalkulation des Fertigungsaufwands bei einem Wiederholteil sowie eine arbeitsökonomisch optimierte Wiederholteilerfertigung möglich. Dies wird anhand der folgenden Aussage exemplarisch deutlich:

*"Man kann häufig noch etwas besser machen. Besser machen heißt, die Verfahrenswege kürzer programmieren, andere Fräser einsetzen, die höhere Geschwindigkeiten zulassen. Das sieht man aber teils erst, wenn das Werkstück fertig bearbeitet ist. Es spart Zeit, wenn ich im Anschluß das Programm gleich verändere und dann erst zurückschreibe, als wenn ich mich dann, wenn das Teil nochmal kommt, erst wieder erinnern muß."*

### **(4) Zusammenfassung der Leistungen im Erfahrungszyklus der Zerspanung**

Zusammenfassend finden sich in den Bearbeitungsphasen der Prozeßvorbereitung, -lenkung und -ausführung Leistungen, die zwei übergeordneten Inhalten zugeordnet werden können.

Zum einen zeichnet sich qualifizierte Facharbeit dadurch aus, daß situationsspezifische Optima in verschiedenen Fertigungssituationen empirisch ermittelt werden. Es handelt sich um ein Austarieren und Abstimmen des Aufwands, den bestimmte fertigungsbezogene Maßnahmen und Bearbeitungen erfordern mit dem damit erreichbaren funktionalen Nutzen.

Dies Austarieren findet statt vor dem Hintergrund der jeweilig geltenden betrieblichen Prioritäten bestehend aus Bearbeitungszeit, Qualität und Werkzeugstandzeit. Das Finden solcher Optima in den einzelnen Prozeßphasen - z.B. bei der technologischen Machbarkeit in der Prozeßvorbereitung, bei Fragen der Schnittwertoptimierung oder des Werkzeugwechsels in der Prozeßlenkung oder bei Fragen zu Maßnahmen zur Qualitätssicherung in der Prozeßauswertung - trägt entscheidend zur Gewährleistung von Flexibilität, Termintreue und Fertigungs- und Produktqualität bei. Diese situations- und anforderungsadäquaten Optima lassen sich nicht vorweg aufgrund allgemeingültiger Regeln bestimmen, da hier eine Vielzahl nicht exakt bestimmbarer Größen einfließen.

Zum anderen zieht sich durch die Prozeßphasen als wesentlicher Leistungsinhalt qualifizierter Facharbeit die Fähigkeit hindurch, mit kritischen Arbeitssituationen konstruktiv umzugehen. Diese Situationen zeichnen sich durch unvorhersehbar und unplanbar auftretende Einflußgrößen aus und stellen die anforderungsgerechte Bearbeitung zumindest in Frage.



In der Phase der Prozeßvorbereitung besteht in diesem Zusammenhang ein wesentlicher Leistungsanteil darin, durch Bearbeitungsstrategien, wie z.B. der Abfolge der Bearbeitungsschritte und durch Prozeßeinstellungen, wie z.B. der Vergabe von Schnittwerten das Auftreten eines Teils der kritischen Arbeitssituationen bereits im vorhinein zu verhindern bzw. Handlungsspielräume und -möglichkeiten in den nachfolgenden Prozeßphasen zu schaffen.

In der Phase der Prozeßlenkung liegen Leistungsinhalte in der Bewältigung des Auftretens von vorab nicht vollständig berechenbaren Einflußgrößen wie Werkzeugverschleiß, Materialunregelmäßigkeiten, Vibrationen usw., die zu ungünstigen Schnittwerten und Störungen führen können. Solche Veränderungen können Facharbeiter in einem bedeutsamen Anteil rechtzeitig erkennen und durch adäquate Eingriffe kompensieren.

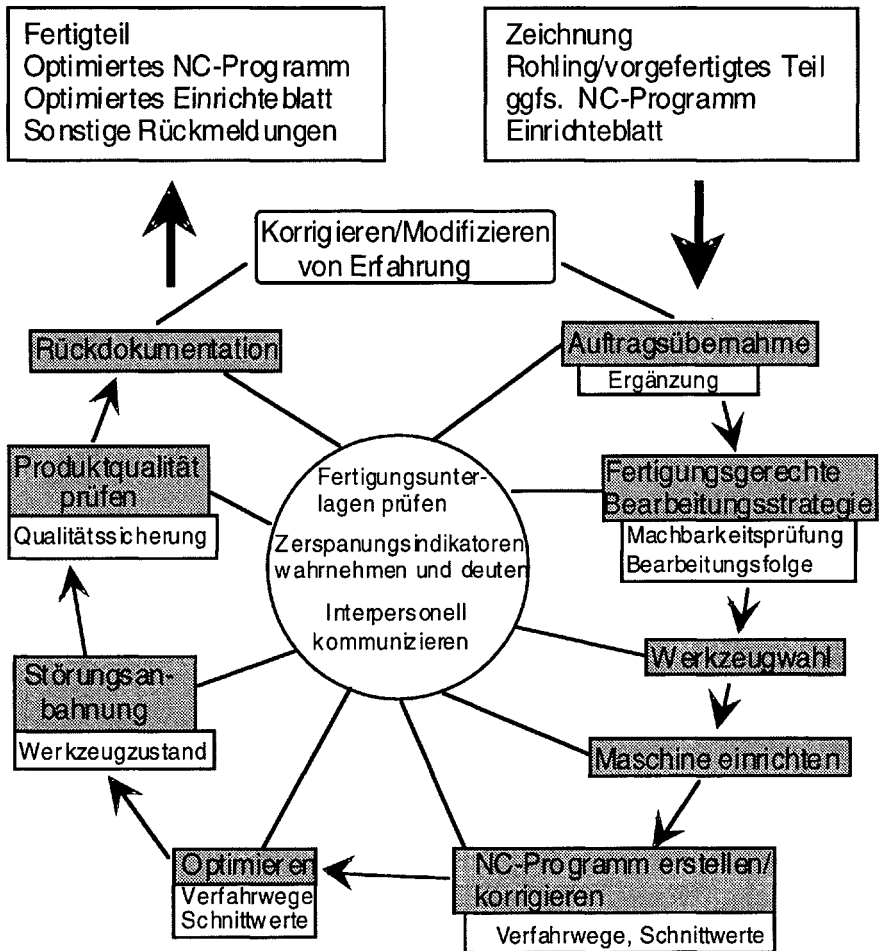
In der Prozeßauswertung liegen Leistungen qualifizierter Facharbeit u.a. in der Berücksichtigung von Invarianten bei der Bestimmung der Maßhaltigkeit wie z.B. der Einbezug reversiblen Maßverzugs sowie in der Auswahl qualitätssichernder Maßnahmen.

Durch die Bewältigung solchermaßen kritischer, im vorweg nicht exakt voraussagbarer und vollständig planbarer Arbeitssituationen stellen Facharbeiter eine störungsfreie und anforderungsgerechte Teilefertigung sicher. Qualifizierte Facharbeiter kompensieren somit Grenzen der Planung und passen ihre Handlungen sensibel und angemessen in jeweilige betriebliche Fertigungsanforderungen wie Flexibilität und Termintreue usw. ein.

An dieser Stelle soll ausdrücklich betont werden, daß die dargelegten Leistungen in den Tätigkeitsphasen Prozeßvorbereitung, -lenkung und -auswertung in einem engen inneren Zusammenhang stehen. So fällt ein Optimieren von Schnittwerten leichter, wenn in der vorbereitenden NC-Programmerstellung Spielräume für ein variierendes Herantasten an optimale Schnittwerte bereits vorgesehen sind. Ebenfalls wird ein anforderungsgerechtes Fertigen unterstützt, wenn in der Prozeßvorbereitung Programmstopps und Meßschnitte an fertigungsadäquaten Stellen eingeplant sind.

Insgesamt über alle Auswertung hinweg zeigt sich als ein durchgehender Befund, daß Facharbeiter in desto besserer Weise ihre Leistungen in den Phasen der Prozeßlenkung und -auswertung entfalten können, in je höherem Ausmaß sie bereits in der Prozeßvorbereitung beteiligt sind. Wenn Facharbeiter die Planung der Bearbeitung einschließlich der Auftragsauswahl, der Erstellung der Bearbeitungsstrategie und des NC-Programms in Eigenverantwortung vornehmen, können für die Festlegung der Prozeßparameter Erfahrungen aus den anderen Phasen genutzt und darüber hinaus wichtige Orientierungspunkte sowie Handlungsspielräume gestaltet werden. Die Bearbeitungsphasen bilden also in ihrem Zusammenspiel einen Zyklus des Erfahrung-Machens. Er läßt sich als Kreislauf verstehen, wie das folgende Bild 2.8 zeigt (Lennartz und Rose 1992; Carus u.a. 1992b, S. 10 f.)





Legende:

Prozeß-  
vorbereitung

Prozeß-  
lenkung

Prozeß-  
auswertung

**Bild 2.8:** Erfahrungszyklus

Den äußeren Kreis bilden relevante Entscheidungssituationen bei der Prozeßvorbereitung, -lenkung und -auswertung. Diese Entscheidungen werden auf der Grundlage der im inneren Kreis genannten Orientierung über zerspanungsspezifische Bedingungen und Umstände getroffen. Es werden Fertigungsunterlagen wie Zeichnung, Auftragspapiere, Einrich-

teblätter aber auch im persönlichen Gespräch übermittelte Informationen z.B. über terminliche Bedingungen und fertigungstechnologische Anforderungen in einer interpretierenden Weise in entsprechende Prozeßeinstellungen und Fertigungshandlungen umgesetzt. Desgleichen werden während der zerspanenden Bearbeitung Indikatoren wahrgenommen und in ihren Bedeutungen für eine anforderungsgerechte Teilefertigung gedeutet.

Um die Entscheidungssituationen unter den aktuell geltenden Zielprioritäten adäquat und bestmöglich bewältigen zu können, kommt den im inneren Kreis angedeuteten Orientierungs- und Informationsmöglichkeiten eine voraussetzende Bedeutung zu. Die Leistungen sind hier idealtypisch dargestellt worden. Wie die herkömmliche CNC-Maschinenteknik diese Leistungen systematisch behindert und erschwert, ist in Kapitel 2.4 ausgeführt.

### 2.3.2 Konstitutive Komponenten erfahrungsgeleiteter Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen

Im Kapitel 2.1 wurde die Methode erfahrungsgeleiteter Arbeit bereits allgemein umrissen. An dieser Stelle wird eine Vertiefung der genannten Grundkategorien erfahrungsgeleiteter Arbeit vorgenommen, und zwar bezüglich einer komplexen, sinnlichen Wahrnehmung, eines assoziativen Denkens, eines emotionalen Involvements und eines dialogisch-explorativen Handelns.

Erfahrungsgesleitetes Arbeiten umfaßt sowohl den Aspekt des Anwandens von Erfahrung in für Facharbeiter alltäglichen bzw. "bekannten" Situationen als auch den Aspekt eines Neuerfahrens von Zusammenhängen in für Fachkräfte außergewöhnlichen oder unbekannten Arbeitssituationen. Alltägliche Arbeitssituationen zeichnen sich dadurch aus, daß sie in ihrer spezifischen Ausprägung nicht bekannt sein müssen, daß sie aber in ein Spektrum bekannter Bedingungen und Lösungsmöglichkeiten fallen. Außergewöhnliche Arbeitssituationen zeichnen sich demgegenüber durch ein höheres Ausmaß an Neuheit bzw. an unbekannten Wirkzusammenhängen aus. Am Beispiel der Vergabe von Schnittgeschwindigkeiten (siehe auch Kapitel 2.3.1) zeigen sich beide Aspekte von Erfahrung. So benennen Facharbeiter mit "Erfahrungswerten" relativ feststehende Kombinationen von Drehzahl, Vorschub und Schnitzzustellung. Diese Kombinationen betreffen die konkrete Fertigungssituation mit jeweiliger Aufspannung, Werkstoff, Werkzeug usw. Sie beziehen sich jedoch auf bekannte Fertigungssituationen. Infolgedessen "*stimmen die Schnittwerte in 80-95 %*" der Fälle. Demgegenüber können Fachkräfte für Teile, die von ihrer Art, von ihrem Werkstoff oder von ihrer Bearbeitung her aus dem bekannten Spektrum herausfallen, solche Werte nur sehr grob benennen. In diesem Fall geht es darum, sich auf der Basis von Vorerfahrungen an die Schnittwerte heranzutasten, die z.B. bei einem neuartigen Werkstück angemessen sind:

*"Bei schwierigen Teilen, die ich noch nicht so genau kenne, muß ich erst sehen, wie sich das Material verhält und welche Schnittwerte richtig sind. Dann gebe ich niedrigere Schnittwerte ein und taste mich langsam höher."*

Diese für Fachkräfte typische Schilderung zeigt, daß beim Herausfinden angemessener Schnittwerte in "neuen" Situationen ein probierendes, herantastendes Vorgehen gewählt wird. Ein aktuelles Erfahren bisher unbekannter oder nicht exakt voraus bestimmbarer Wirkzusammenhänge stellt somit ein wichtiges Moment erfahrungsgeleiteter Arbeit dar. Hierauf beruht ein wesentlicher Leistungsfaktor qualifizierter Facharbeit, da ein aktuelles Erfahren gerade das flexible Umgehen mit neuen und ungeplanten bzw. unplanbaren Situationen ermöglicht.

Grundkategorien erfahrungsgeleiteter Arbeit sind im konkreten Vorgehen nicht voneinander getrennt vorzufinden, sie treten stets in enger Verschränkung und Verknüpfung auf. Wenn im folgenden diese Grundkategorien analytisch getrennt dargestellt werden, so meint dies, daß erfahrungsgeleitete Arbeit aus verschiedenen Perspektiven betrachtet wird und jeweils andere Elemente in die zentrale Betrachtung gestellt sind.

### **(1) Wahrnehmung als multimodales, sinnliches und gefühlsbetontes Erkennen**

Aus den empirischen Ergebnissen und Befunden sind typische Merkmale der Wahrnehmung analytisch ermittelt, wie sie für erfahrungsgeleitete Arbeit charakteristisch sind. Drei Merkmale sollen an dieser Stelle ausführlich herausgestellt werden:

- multimodale und sinnliche Wahrnehmung,
- gefühlsbetonte Wahrnehmung und
- antizipativ-imaginative Wahrnehmung.

### **Multimodale und simultane sinnliche Wahrnehmung**

Die sinnliche Wahrnehmung im Rahmen der erfahrungsgeleiteten Arbeit mit Werkzeugmaschinen erfolgt über verschiedene Sinne multimodal und simultan. Wahrnehmbare Daten und Informationen, die mit der laufenden programmgesteuerten Zerspanung korrespondieren, haben eine orientierende Bedeutung und sind zugleich Grundlagen für eine Einschätzung des aktuellen Prozeßzustands sowie für Prognosen der weiteren Bearbeitung.

Groborientierung z.B. über den Stand der Abarbeitung gewinnen Facharbeiter aus Phänomenen, die mit dem Beginn umfangreicher Bearbeitungsabschnitte einhergehen, wie Geräusche beim Werkzeugwechsel oder G-Funktionen in der Bildschirmanzeige von NC-Programmsätzen. Eine Feinorientierung darüber, welche Werkzeugbewegung als nächste erfolgen wird, gewinnen Facharbeiter über den Vergleich der Restwege-Anzeige mit den realen Abständen zwischen Werkzeug und Werkstück. Um solche Orientierung zu erlangen, ist wechselnder Blickkontakt zwischen Arbeitsraum, Anzeigen, Monitor und Zeichnung notwendig. Auch über akustische Wahrnehmung findet eine Feinorientierung statt, z.B. erkennen Facharbeiter am Geräuschspektrum, ob ein Werkzeug innen oder außen am Werkstück arbeitet.

Die Orientierung darüber, was als nächstes kommt und welcher Programmstatus erreicht ist, entsteht durch die Wahrnehmung und Interpretation von Indikatoren. Gemeint sind hiermit Prozeßdaten oder Prozeßäußerungen, die der sinnlichen Wahrnehmung zugänglich sind und denen eine spezifische Bedeutung für den Bearbeitungsprozeß zugeschrieben wird. Wichtige Indikatoren sind z.B. solche, die eine Orientierung über den jeweiligen Stand der programmgesteuerten Bearbeitung ermöglichen. Diese Orientierung fällt umso leichter, wenn Facharbeiter die Bearbeitungsstrategie und das NC-Programm selbst erstellt haben. In diesem Fall erfolgt insbesondere beim ersten Abfahren des Programms eine Entlastung der Wahrnehmungskapazität. Facharbeiter haben bereits eine Vororientierung und müssen sich nicht erst im Moment der Abarbeitung in das Programm hineinfinden. Exemplarisch hierfür ist folgende Aussage:

*"Wenn ich das Programm selbst geschrieben habe, dann weiß ich sofort, was als nächstes passiert. Dann reicht es, wenn ich einen Werkzeugwechsel oder ein Werkzeug im Eilgang höre. Oder wenn ich auf dem Bildschirm nur einen NC-Satz sehe oder mal einen Blick in den Innenraum werfe. Wenn ich ein fremdes Programm einfahre, weiß ich nicht so genau, was als nächstes passiert, auch wenn ich das Programm vorher gelesen habe. Weil ich mich erst in die Gedankengänge des Programmierers einarbeiten muß, geht das nicht so mühelos und automatisch."*

Es bestehen verschiedene Zugänge zur Orientierung über den jeweiligen Stand der Bearbeitung. Hervorzuheben für erfahrungsgeleitetes Arbeitshandeln sind die Wahrnehmung semantisch kodierter Information in der Form von NC-Sätzen, die Wahrnehmung bildhaft vermittelter Informationen in der Form von Bewegungs"figuren" von Spindel und Werkzeug sowie die Wahrnehmung akustisch dargebotener Information in Form von Geräuschen.

Die sinnliche Wahrnehmung ist darüber hinaus die Grundlage für ein Einschätzen der Qualität der Zerspanung und für ein Einleiten adäquater und qualitätssichernder Maßnahmen. Wie unsere Untersuchungen zeigen, differenzieren Facharbeiter prozeßspezifische Indikatoren, die sich einerseits auf Wahrnehmungen einzelner Wahrnehmungssysteme, monomodale Indikatoren, und solche, die sich andererseits auf Wahrnehmungen über mehrere Sinneskanäle, multimodale Indikatoren, beziehen.

Kombinierte multimodale Indikatoren werden vor allem bedeutsam bei der Einschätzung von diffusen, d.h. nicht exakt meß- und beschreibbaren Trendwenden und -verläufen des laufenden Zerspanungsprozesses. Charakteristisch ist hierfür folgende Schilderung:

*"Um einzuschätzen, ob der Stahl noch gut ist, ob sich eine Aufbauschneide bildet, reicht es nicht aus, nur die Geräusche zu hören. Dazu braucht man ein Sehen des Spanbruchs, der Spanfarbe. Auch Vibrationen liefern zusätzliche Hinweise. Ich kann nicht sagen, daß ich die Platte nur auf Gehör auswechsel."*

Diffus verlaufende Trendwenden im Zerspanungsprozeß, wie z.B. eine allmählich zunehmende Werkzeugabnutzung, lassen sich nach Aussagen der Facharbeiter desto sicherer erkennen, je mehr Informationen über mehrere Sinneskanäle gleichzeitig zugänglich sind. Charakteristische Äußerungen von Facharbeitern umschreiben dies damit, daß *"Sehen, Hören*

und Tasten/Fühlen, das läuft alles in einen Topf " und daß erst diese Kombination eine angemessene *"Vorstellung von dem ermöglicht, was passiert"*. Der Effekt einer solchen multimodalen Wahrnehmung liegt in der Ergänzung der Wahrnehmung eines Sinneskanals durch redundante Wahrnehmungen über andere Sinneskanäle; eine Sinneswahrnehmung wird durch die Gesamtheit der aufgenommenen Wahrnehmungen relativiert. Multimodal und simultan wahrgenommene und kombinierte Indikatoren haben ihre Bedeutung für die Zerspanung vor allem für die Erkennung diffus verlaufender Prozeßverläufe. Solche Wahrnehmungen der Bearbeitung machen Leistungen von Facharbeitern möglich, wie sie u.a. bei der Optimierung von Technologiewerten und beim Umgang mit sich anbahnenden Störungen in der Phase der Prozeßlenkung beschrieben wurden.

Monomodale Indikatoren betreffen demgegenüber die Erkennung weniger diffuser und exakter beschreibbarer Ereignisse. Gemeint sind solche Ereignisse, in denen z.B. eine akustische Wahrnehmung für die Erkennung des Bedeutungszusammenhangs ausreichend ist. Dies ist der Fall, wenn Indikatoren deutlich eine Abweichung von einem Normallauf anzeigen und eine eindeutige Ursache haben, wie z.B. zu hohe Drehzahlen oder einen Werkzeugbruchs.

Monomodale Indikatoren sind darüber hinaus für die Aufmerksamkeitslenkung bedeutsam:

*"Es gibt Geräusche, bei denen kann man nicht genau orten, warum war das so. Dann fängt man an, das zu überprüfen und dann ist man mit allen seinen Sinnen dabei. Erstmal war das nur so ein vages Geräusch, irgendwas hört sich nicht gut an und dann fängt man an zu überprüfen."*

Monomodale Indikatoren können somit eine Bedeutungsverdichtung in der Richtung beinhalten, daß "irgend etwas nicht stimmt" und führen zu einer Fokussierung der Aufmerksamkeit auf die Ursachenfindung mittels einer dann multimodalen Wahrnehmung.

Eine wichtige Rolle bei der Orientierung anhand solcher Indikatoren spielen sogenannte wahrnehmungsrelevante "Marken". Diesen liegen jeweils bestimmte Ausprägungen oder Ereignisse zugrunde, die mit einer besonderen handlungsrelevanten Bedeutung verbunden und in dieser Weise im Gedächtnis behalten werden. Wahrnehmungsrelevante Marken haben eine situationsspezifische Komponente, wie anhand einer Facharbeiteraussage exemplarisch deutlich wird:

*"Wenn die Geräusche ansteigen, ist das ein Zeichen für höhere Geschwindigkeit und stärkere Abnutzung des Fräasers. Wenn ich beispielsweise sechs Nuten mit einem Fräser machen will, dann muß ich auf Geräusche achten, die dies zulassen, das heißt beim Bearbeiten der ersten Nut müssen die Geräusche so sein, daß auch die anderen Nuten bearbeitet werden können"*

In die Wahrnehmung eines jeweilig "richtigen" Geräuschmusters fließen somit ebenfalls Zielparameter, wie die der Werkzeugstandzeit mit ein. Durch solche situationsspezifischen Marken werden Leistungen wie die des Herausfilterns situationsspezifischer Optima möglich. Zusätzlich unterscheiden sich die ausgebildeten Marken individuell. Da Facharbeiter in ähnlichen Bearbeitungssituationen unterschiedliche Bearbeitungsstrate-



gien verfolgen (können), *"sind dann auch die Geräuschmuster, an denen man sich orientiert, nicht die gleichen"*.

Die Art und Weise, wie Wahrnehmungen von Prozeßdaten eine bestimmte Bedeutung zugeschrieben, wie sie "markiert" werden, gibt Aufschluß über die Bildung von Erfahrung. Erfahren stellt eine Möglichkeit der Erkenntnis von Zusammenhängen zwischen Ausgangssituationen, Handlungen, Maßnahmen (wobei auch ein "Nichtstun" als eine Handlung zu begreifen ist) und daraus resultierenden, veränderten Situationen dar. Exemplarisch hierfür die Aussage eines Facharbeiters:

*"Wenn z.B. in der Fläche Riefen entstanden sind oder sonst eine schlechte Fläche herausgekommen ist, erinnert man sich daran, wie sich die Zerspanung von ihren Geräuschen her und von dem was zu hören war, verändert hat. Das merkt man sich dann, und wenn in einer ähnlichen Situation nochmals solche Geräusche kommen, dann weiß man schon, in welche Richtung sich der Prozeß entwickeln wird und kann schon vorher eingreifen."*

Eine Bedeutungsverdichtung funktioniert offenbar derart, daß erfahrene Konsequenzen der Bearbeitung, wie z.B. die resultierende Qualität, aber auch die situativen Umstände der Bearbeitung sowie die eigenen Maßnahmen und Handlungen mit den entsprechenden Wahrnehmungen verknüpft werden. Marken bestehen somit aus wahrgenommenen Datenkulissen, die mit erfahrenen Konsequenzen und Bearbeitungsverläufen verbunden sind. Solche Marken beziehen sich nicht allein auf die Phase der Prozeßlenkung. Sie spielen ebenfalls eine Rolle bei der Beurteilung der Qualität in der Prozeßauswertung. Typische Aussagen von Facharbeitern gehen in die Richtung, daß sie wüßten, wie eine "gute" Oberfläche auszusehen habe. In Marken, die eine solchermaßen gute Fläche ausmachen, sind wiederum Erfahrungen aus Beobachtungen und Gesprächen mit nachbearbeitenden Kollegen enthalten. Erst aus Erfahrungen, wie sich eine bestimmte Fläche beim Lackieren, Schleifen oder Härten usw. verhält, ergibt sich das fertigungsbezogene Kriterium der "guten" Fläche.

Die sinnliche und multimodale Wahrnehmung zeichnet sich weiterhin durch eine relationale Charakteristik aus. D.h. für die Zuschreibung von Bedeutung kommt es auf aktuelle Veränderungen von Datengemischen vor dem Hintergrund der bestehenden gesamten Datenkulisse an. Dies meint z.B. beim Hören, daß insbesondere die Veränderung von Geräuschen vor dem Hintergrund von Geräuschkulissen bedeutsam ist.

*"Die relevanten Geräusche höre ich aus dem Geräuschpegel heraus. Es ist auf keinen Fall ein einzelner Ton. Ich kann verschiedene unterschiedliche Geräusche bei verschiedenen Materialien und Werkzeugen unterscheiden und hören, ob die Geschwindigkeit stimmt. Da ich mit 10 bis 15 verschiedenen Materialien arbeite und mit ca. 30 Werkzeugen, sind es eine Menge von Geräuschmustern, die jeweils das Normalgeräusch abgeben."*

Beim Sehen ist folgender Aspekt von Bedeutung. Ein fokussierendes Sehen wird durch ein Bewegungssehen aus dem Augenwinkel ergänzt. Erst dies führt zum Eindruck, einen komplexen Raum überblicken zu können. Die Bedeutung der Kombination von fokussierendem und von peripherem Sehen für die Arbeit mit Werkzeugmaschinen wird dann offensichtlich, wenn das Gesichtsfeld durch sehr kleine Scheiben oder auch



durch die Verwendung von Roto-Clear als einzigem Einblick auf die Zerspanung stark eingeschränkt wird (Carbon u.a. 1992, S. 330). In diesem Fall ist ein Sehen aus dem Augenwinkel nicht möglich. Der Wegfall des peripheren Sehens führt nach vorliegenden Befunden zu einer als wesentlich größer und belastender empfundenen Unsicherheit bei der visuellen Wahrnehmung auf seiten der Facharbeiter.

### **Gefühlsbetonte Wahrnehmung**

Die Wahrnehmung erfahrener Facharbeiter zeichnet sich nach übereinstimmenden Aussagen durch gefühlsbetonte Wahrnehmungselemente aus. Das subjektiv-emotionale Empfinden ist nicht ausgeschaltet, sondern stellt eine wichtige Erkenntnismöglichkeit dar. Ein anschauliches Beispiel liefert die Ausführung eines Facharbeiters:

*"Das Geräusch eines Schruppfräasers, der sich mit der richtigen Drehzahl in das Werkstück reinfäst, ist ein angenehmes Geräusch. Ein tiefer, runder, schmatzender Grundton. Demgegenüber produziert ein Schlichtfräser einen ganz schrillen Vibrationston, wenn er nicht die richtige Geschwindigkeit hat. Der ist äußerst unangenehm, der bedeutet, daß das Werkstück infolge der Vibrationen hinterher Riefen hat, das hört sich richtig ungesund an und erreicht schon auch meine persönliche Schmerzgrenze. Es ist fast so, als ob ich selber den Schmerz fühle, wenn über ein schönes Stück Metall der Schlichtfräser so brutal rüberquietscht."*

In den Schilderungen der Facharbeiter finden sich mit unterschiedlichem Gewicht durchgängig gefühlsbetonte Beschreibungen von Zerspanungsverläufen. Es handelt sich um Zuordnungen emotional positiv bzw. negativ gefärbter Verbalisierungen spezifischer Indikatoren, die aufgrund erlebter Zerspanungsverläufe mit einer erfolgreichen bzw. mißlingenden Bearbeitung assoziiert werden. Charakteristisch sind Beschreibungen des Zerspanungsverlaufs in "gefühlbezogenen" Kategorien. Beispiele sind etwa, "der Bohrer *quält* sich", "die Platte drückt *unangenehm*", sie "schneidet wie durch *Butter*", "ein *sattes Grundgeräusch*". Die Funktion liegt bei diesen Phänomenen in der Transformation der jeweiligen Bedeutung in gefühlsbetonte Wahrnehmungselemente. Diese Transformation beinhaltet nicht selten einen Bezug zum Körperempfinden, z.B. wenn wie im obigen Zitat von *Schmerz* die Rede ist.

Solche gefühlsbezogenen Wahrnehmungen können als "Gefühlsmarken" bezeichnet werden. Gefühlsmarken beziehen sich sowohl auf multimodale kombinierte, wie auf monomodale Indikatoren, d.h. es lassen sich unangenehme bzw. angenehme Geräusche, Werkzeugbewegungen, Spanfarben und -formen und unangenehme bzw. angenehme NC-Sätze sowie Kombinationen identifizieren. Das Erleben von "angenehm" und "unangenehm" bezieht sich auf abtzipierte positive und negative Auswirkungen auf das jeweilige Resultat der Zerspanung.

Die Ausbildung und Zuordnung von Gefühlsmarken zu bestimmten Phänomenen des Bearbeitungsverlaufs stellt eine informatorische Verdichtung und damit eine Verarbeitung von Komplexität dar. Die Bedeutung von Gefühlsmarken besteht darin, daß bei ihrem Auftreten ein blitz-

schnelles intuitives Erkennen und Handeln in besonders zeitkritischen Situationen möglich wird.

### **Antizipativ-imaginative Wahrnehmung**

Mit der antizipativ-imaginativen Art der Wahrnehmung wird ein dritter charakteristischer Aspekt der Wahrnehmung beleuchtet. Allgemein handelt es sich hierbei um die Fähigkeit, mehr wahrzunehmen, als direkt auf der physikalischen Erscheinungsebene "sichtbar" ist. Wahrnehmungsnahe Vorstellungen ergänzen die direkt über die Sinne zugängliche Wahrnehmung auf der Grundlage von damit in Zusammenhang stehenden Erfahrungen. Solche Vorstellungen finden sich z.B., wenn Facharbeiter in der Phase der Prozeßlenkung aufgrund aktueller Wahrnehmungen die zukünftige weitere Zerspanungsentwicklung "vor Augen haben". Mentale Vorstellungen dieser Art finden sich weiterhin als bedeutsamer Bestandteil bei der Erstellung der Bearbeitungsstrategie, der Aufspannung und der NC-Programmerstellung (siehe ausführlicher Bolte 1993, S. 73 f.). Typisch hierfür ist folgende Beschreibung des Vorgehens in der Phase der Prozeßvorbereitung:

*"Wenn ich eine Zeichnung ansehe, dann habe ich sofort eine Vorstellung vom herzustellenden Werkstück. Damit verbunden kommen dann auch Vorstellungen über den Bearbeitungsprozeß und damit gekoppelt die einzusetzenden Fräser. Wenn diese Vorstellungen da sind, dann weiß ich auch, wie die Aufspannung sein muß."*

Ausgehend von Rohteil, Konstruktionszeichnung, dem Einrichteblatt mit den Werkzeugbezeichnungen sowie der CNC-Werkzeugmaschine und dem Innenraum gewinnen Facharbeiter eine räumliche Vorstellung davon, wie das Fertigteil hinterher aussehen wird und entwickeln eine gegenständliche Vorstellung von der Bearbeitung. Für die Entwicklung dieser mentalen Vorstellung nutzen sie verschiedene Zugänge:

- semantisch-symbolische Informationen z.B. aus der Konstruktionszeichnung und dem Einrichteblatt,
- bildliche Informationen z.B. aus dem konkret-anschaulichen Rohling und der Maschine sowie
- verbale Informationen z.B. aus Gesprächen mit Konstrukteur, Monteur, Meister oder Kollegen.

Die mentale Vorstellung vom Fertigteil und die anschauliche Antizipation der Bearbeitung beruht auf einer Ergänzung der über unterschiedliche Medien aufgenommenen Informationen auf der Grundlage von Erinnerungen an vergleichbare Ausgangssituationen und Bearbeitungen. Die Schnelligkeit, mit der diese mentale Vorstellung entsteht, läßt sich auf assoziative Verknüpfungen zu erinnerten und erlebten Bearbeitungssequenzen zurückführen. Dies korrespondiert mit der Beobachtung, daß Facharbeiter mentale Vorstellungen vom Fertigteil erst sukzessive mit einer ausführlichen Reflexion über Konstruktionszeichnung und Rohteil aufbauen. Dies ist der Fall bei geometrisch komplexen Bauteilen, die deutlich aus einem bekannten Werkstückrahmen herausfallen.

In der Fähigkeit, nicht konkret vorhandene Gegebenheiten aufgrund von mentalen und handlungsnahen Vorstellungen "mitzusehen" und

"vorauszusehen" ist eine wichtige Grundlage für in der Phase der Prozeßvorbereitung beschriebene Leistungen von Facharbeitern. So "sehen" Facharbeiter bei der technologischen Machbarkeitsprüfung z.B. ein Einreißen oder Einwölben einer sehr dicht am Werkstückrand liegenden Passung vor ihrem geistigen "Auge". Ebenso läßt sich eine Mitberücksichtigung vom Fertigungsaufwand für nachfolgende Bearbeitungen bei der Vergabe von Aufmaßen auf Antizipation des nachfolgenden Arbeitsablaufs zurückführen.

Die hier beschriebenen Arten sinnlicher Wahrnehmung unterscheiden sich von einer rein registrierenden, "objektiven" Wahrnehmung unter möglichst weitgehendem Ausschluß von gefühlsbezogenen Komponenten. Es handelt sich um eine subjektiv geprägte, sinnliche und gefühlsbetonte Wahrnehmung, die um mentale Vorstellungen ergänzt wird. Erst durch diese Vielschichtigkeit entsteht ein handlungsorientierter Gesamteindruck von der Zerspanung. Weiterhin sind die Ausbildung der beschriebenen semantisch-symbolischen, bildlichen, akustischen und gefühlsmäßigen Marken wie auch die Entstehung von vorstellungsmäßigen Antizipationen und Imaginationen wesentlich auf entsprechende Erfahrungen gegründet. Im Falle der Ausbildung von situationsspezifischen und individuell unterschiedlichen Marken werden bestimmte Wahrnehmungsinhalte direkt mit erfahrenen Bedeutungen und Konsequenzen verknüpft. Dies ist in ähnlicher Weise ebenso bei der bearbeitungsbezogenen Antizipation und Imagination der Fall. Sie hängen eng zusammen mit bereits erfahrenen und erinnerbaren Bearbeitungen.

## **(2) Denken als ein intuitiv-assoziatives Erfassen und Entscheiden**

Ein weiteres wichtiges Element erfahrungsgeleiteter Arbeit besteht in einem intuitiv-assoziativen Erkennen und Entscheiden. Qualifizierte Facharbeiter in der Zerspanung bewerten Informationen und entscheiden über Handlungsalternativen offensichtlich nicht nur auf der Grundlage eines rational-kalkulierenden und an logischen Kriterien orientierten Vorgehens. Entscheidungen und Lösungen zeichnen sich vielmehr dadurch aus, daß sie "plötzlich vor Augen stehen" mitsamt ihren verschiedenen Bedingungen und Handlungszielen. So sind beispielsweise Vorstellungen bezüglich der Bearbeitungsstrategie gekoppelt mit Vorstellungen vom Fertigteil und treten nahezu gleichzeitig auf.

Im folgenden sind einige Charakteristika des intuitiv-assoziativen Bewertens und Entscheidens als Inhalte des Denkens im Rahmen erfahrungsgeleiteter Facharbeit näher ausgeführt.

### **Assoziative, wahrnehmungsnahe Form des Denkens**

Im vorausgegangenen Abschnitt wurden Wahrnehmungsmarken als Verknüpfungen zwischen wahrgenommenen Prozeßinformationen und spezifischen erfahrenen Konsequenzen von Bearbeitungsverläufen beschrieben. Die solchen Verknüpfungen zugrunde liegenden kognitiven Prozesse sind nur begrenzt bewußtseinsfähig und verbalisierbar. Aus-

gen von Facharbeitern und Beobachtungen ihres Arbeitshandelns können jedoch wichtige Hinweise geben.

Grundlagen kognitiver Vorgänge beim intuitiven Bewerten und Entscheiden sind nach unseren Analysen assoziative, wahrnehmungsnahe Formen des Denkens. Ein wichtiges Prinzip hierbei kann als ganzheitliches Behalten und Erinnern komplexer Situationen benannt werden. Hierzu eine exemplarische Aussage eines Facharbeiters:

*"Wenn ich merke, da hört sich etwas komisch an, man weiß aber, da war schon mal was ähnliches, dann gräbt man richtig nach und dann fällt einem die ganze damalige Geschichte wieder ein".*

In dieser Schilderung gelingt es dem Facharbeiter, sich über ein "ähnliches" Geräusch an die "ganze damalige Geschichte" zu erinnern. Facharbeiter schildern übereinstimmend, daß sie sich assoziativ über einzelne Merkmale an komplexe Situationen erinnern können, in denen dies Merkmal in einer ähnlichen Form ebenfalls auftrat. Die Fähigkeit, komplexe Fertigungssituationen in ihrer Ganzheitlichkeit und in ihrem Zusammenhang mit Einflußgrößen sowie auch subjektiv "Erlebtem" zu erinnern, ist die wesentliche Grundlage des assoziativen und wahrnehmungsnahe Denkens. Über ein bestimmtes Ereignis oder Merkmal können somit assoziativ Bezüge zu erlebten und erfahrenen, bereits vergangenen Bearbeitungsverläufen hergestellt werden. Hier ist allerdings ein konstruktiver Vorgang angesprochen, es handelt sich nicht um ein Eins-zu-Eins-Abbild der damaligen Situation, die assoziativ über ein ähnliches Merkmal wie z.B. ein Geräusch oder eine visuelle Information hervorgeholt werden würde. Vielmehr sind nach den Schilderungen der Facharbeiter die Vorstellungsbilder und Erinnerungsbilder genau auf die jeweilig aktuelle Fertigungssituation hin angepaßt. Um dies zu verdeutlichen zwei Aussagen von Facharbeitern aus der Phase der Prozeßvorbereitung sowie aus der Phase der Prozeßlenkung:

*"Wenn ich eine Zeichnung ansehe, dann habe ich sofort eine Vorstellung, wie das fertige Werkstück aussieht, auch wenn ich es in der genauen Ausprägung noch nicht gemacht habe. Die Vorstellung ist bildähnlich, und ich sehe damit verbunden auch die Aufspannung und wo ich anfangen, also die Bearbeitungsstrategie vor mir".*

*"Ich sehe manchmal Fräser vor mir, obwohl ich sie eigentlich gar nicht sehen kann. Z.B. wenn ein Geräusch auftritt, von dem ich weiß, daß es anzeigt, daß der Fräser jetzt mit meinem Material Aluminium verschmilzt, weil er zu stumpf und zu heiß geworden ist. Ich sehe dann diesen verschmolzenen Fräser vor mir - ich kann mir sogar die Farbe vorstellen. Ich habe ja auch schon genügend tatsächlich gesehen."*

Beide Aussagen legen den Schluß nahe, daß es sich bei den entstehenden mentalen Vorstellungen um eine Art von "Neukonstruktion" auf der Basis von erinnerten Situationen handelt. Aktuelle Gegebenheiten (wie konkrete Zeichnung und Fräswerkzeug) und Handlungsabsichten bilden dabei den Fokus für Einbezug aktivierter Vorerfahrungen und Erinnerungen. Somit resultiert auf der Grundlage einer (alten) Erinnerung eine (neue) Vorstellung. Es entstehen Vorstellungsbilder, die unmittelbar auf die aktuelle Situation bezogen sind und handlungsrelevant werden.

Auf dieser Basis können weitreichende Assoziationsketten entstehen. Ausgehend von handlungsrelevanten aktuellen Merkmalen können unterschiedliche bereits erlebte Situationen in ihren Bezügen auf die aktuelle Situation hin erinnert werden. Zugrunde liegt ein holistischer Vergleich aktueller mit erlebten Situationen mit einer gleichzeitig stattfindenden Anpassung von Erinnerungsinhalten an aktuelle Handlungserfordernisse. Solchermaßen assoziatives Denken ermöglicht Leistungen von Facharbeitern, wie sie z.B. in adäquaten Prognosen des Bearbeitungsverlaufs auf der Grundlage einer spezifischen, aktuellen Informationskulisse beschrieben sind.

### **Bewerten und Entscheiden**

Eng mit assoziativen und handlungsorientierten Formen des Denkens hängt ein intuitives Bewerten und Entscheiden zusammen. Entscheidungen über Bearbeitungsstrategien, Werkzeugwahl, über die Vergabe von Technologiewerten und Entscheidungen über Eingriffe in laufende Prozesse sowie Entscheidungen über qualitätssichernde Maßnahmen beruhen auf einer Bewertung und prognostischen Einschätzung der zugrunde liegenden Ausgangssituation. Nach unseren Untersuchungen orientieren sich Facharbeiter bei Zustandsbewertungen und bei Entscheidungen wesentlich an globalen Gefühlen von "Stimmigkeit". Solche Orientierung an Stimmigkeit findet sich sowohl in der Prozeßvorbereitung, wie auch in den Phasen der Prozeßlenkung und -auswertung. Das Gefühl der Stimmigkeit beruht hierbei auf Erfahrung, wie anhand der exemplarischen Schilderung eines Facharbeiters deutlich wird:

*"Ich bin öfter angefahren, obwohl ich ein ungutes Gefühl hatte. Ich habe festgestellt, daß es in solchen Fällen dann auch wirklich schiefging. Bei mir ist es selten, daß ich unbegründet ein schlechtes Gefühl hatte. In ca. 90% stimmt das unguete Gefühl. So kurz bevor Du auf Programmstart drückst, überlegst du nochmal, stimmt alles. Irgendwie hakst Du es ab, das ist normal, das ist auch okay. Und irgendwo klickt es ein: da stimmt irgendetwas nicht. Und meistens hast Du dann tatsächlich was übersehen. Solche Gefühle gibts am Anfang und während es läuft."*

Nach unseren Untersuchungen zeichnet es erfahrene Facharbeiter aus, solche Gefühle, daß etwas nicht stimmt, zu beachten und sie als Erkenntnismomente wertzuschätzen. Im Fall der Prozeßvorbereitung treten solche Gefühle des Nicht-Stimmig-Seins häufig erst im Moment des letzten Überprüfens auf. Das Gefühl des Nicht-Stimmig-Seins resultiert dabei aus einem überblicksartigen Überprüfen der vorgenommenen Prozeßeinstellungen, wobei das Überprüfen nicht notwendigerweise systematisch in einem Schritt-für-Schritt-Vorgehen erfolgt. Nach Aussagen von Facharbeitern handelt es sich eher um ein ungenaues, relativ unsystematisches, intuitives und nicht bewußtseinspflichtiges Nachvollziehen und Überprüfen der durchgeführten Handlungskomplexe.

Dieses Gefühl von Stimmigkeit findet sich auch bei der spanabhebenden, programmgesteuerten Bearbeitung. Exemplarisch hierfür die Schilderung:



*"Ich habe das Gefühl, es paßt, es stimmt, wenn das Geräusch angenehm satt ist. Von diesem Geräuschmuster kann man dann aktuelle Abweichungen hören. Das sind dann Unregelmäßigkeiten. Gibt es eine Abweichung von einem schon einmal gehörten Grundmuster, dann stimmt etwas nicht. Du weißt einfach, das Geräusch muß jetzt kommen und der Ablauf. Und irgendwo erwartet man es unterschwellig auch - und jetzt kommt das und dann klingt das ab. Ja, gut war da. Aber es ist gleich Alarm, wenn irgend etwas jetzt nicht oder anders kommt"*

Globale Gefühle des "Passens" bzw. des "Nicht-Stimmig-Seins" beziehen sich offensichtlich auf ein Übereinstimmen bzw. ein Nicht-Übereinstimmen von erwarteten mit tatsächlichen Prozeßdatenkulissen. Auf der Grundlage erfahrener Fertigungsverläufe können Facharbeiter Erwartungshaltungen und Prozeßprognosen bezüglich einer unter den gegebenen Umständen optimal verlaufenden Bearbeitung aufbauen. Abweichungen aktueller Prozeßverläufe von den erwarteten können dann aufgrund gefühlsmäßiger Äquivalente erkannt werden. Diese Prozesse liegen z.B. der Leistung von Facharbeitern zugrunde, wenn sie in der Phase der Prozeßlenkung "falsche" Schnittwerte oder wenn sie Störungen bereits im Anbahnungsstadium aufgrund sogenannter erfahrungsbasierter Ahnungen (Carus u.a. 1992, S. 56 f.) erkennen. Die Erkennung von Tendenzwenden in Richtung eines suboptimalen Prozeßverlaufs anhand globaler Gefühle "etwas stimmt nicht" liegt häufig zeitlich vor einem rationalen Erkennen der Ursache. Facharbeiter nutzen diese Gefühle dazu, ihre Aufmerksamkeit zu fokussieren und gehen dann zur zielgerichteten Problemlösung über.

Allerdings soll durch vorstehende Ausführungen nicht der Eindruck vermittelt werden, daß Fachkräfte starre und feststehende Erwartungsmuster ausbilden. Auch hier bilden sich vielmehr "Neukonstruktionen" auf der Basis aktuell auftretender Datenkulissen. Eine solche läßt sich mit der Beobachtung fundieren, daß Facharbeiter infolge der Vielzahl von Werkzeug, Material, Aufspannungs- und Schnittwertekombinationen z.B. im vorhinein nicht wissen, wie sich etwas tatsächlich anhören wird. Es werden eher vage und ungenaue Erwartungsmuster beschrieben. Trotzdem stellen Facharbeiter prompt und sehr genau fest, wenn dann z.B. ein auftretendes Geräusch "nicht stimmt". Dies legt den Schluß nahe, daß aufgrund erfahrener Bearbeitungsverläufe Erwartungsmuster und Wahrnehmungsmarken in konkreten Bearbeitungssituationen immer wieder neu konstruiert werden. Hierauf gründet die Fähigkeit von Facharbeitern, (Vor-)Erfahrungen auch in neuen Situationen anwenden und nutzen und situationspezifisch reagieren zu können. Solche Situationen müssen allerdings in hinreichendem Zusammenhang zu dem Spektrum liegen, für das vergangene Erfahrungen zutreffend sind.

Aus dieser Perspektive gesehen handelt es sich bei intuitiven "Entscheidungen" gerade nicht um Entscheidungsprozesse im herkömmlichen Sinne. Vielmehr handelt es sich um eine konstruktive Transformation von Erfahrung auf die jeweilig konkrete Situation. In dieser Transformation sind dann Bewertungen und Handlungsmuster enthalten und werden durch die Orientierung an dem Gefühl der "Stimmigkeit" handlungsrelevant.



### (3) Subjektiv-emotionale Beziehung zu Maschine und Teileerstellung

Wie bereits bei der Beschreibung der Formen von sinnlicher Wahrnehmung und der assoziativ-intuitiven Form des Denkens angesprochen wurde, kommen im Rahmen erfahrungsgeleiteter Arbeit emotional-motivationalen Komponenten eine zentrale Bedeutung zu. Gefühle und gefühlsmäßige Äquivalente werden nicht ausgeblendet oder stellen Störgrößen dar, sondern sind wichtige Bestandteile des Handelns. Sie haben sowohl eine motivierende Bedeutung, indem sie einen Antrieb für eine erfolgreiche Teilefertigung begründen. Sie haben darüber hinaus eine handlungsleitende Bedeutung, wie anhand der gefühlsgesteuerten Wahrnehmung und anhand der Orientierung an globalen Gefühlen von Stimmigkeit bei der Bewertung von Informationen und bei Entscheidungen bereits gezeigt werden konnte. Im folgenden sei als weiterer Aspekt die emotionale Bindung an die jeweilige Maschine sowie die Herausforderung und Bestätigung bei der Arbeit herausgestellt. Anschließend wird ein Zusammenhang zwischen motivierenden Faktoren und der handlungsleitenden Bedeutung von Gefühlen aufgezeigt.

#### Ausbilden von emotionaler Bindung an Maschine

Nach unseren empirischen Befunden hängt ein Ausschöpfen des Leistungspotentials qualifizierter Facharbeit in hohem Maße von der Ausbildung einer emotionalen Bindung an die Maschine ab. Deutlich zeigt sich dies im Unterschied zwischen Arbeitskräften, die einer Maschine fest zugeordnet sind und sogenannten Springern, die je nach Bedarf an verschiedenen Maschinen eingesetzt werden. Aufschlußreich ist hier die Aussage eines Springers:

*"Ich kann die Maschinen gar nicht so gut kennenlernen, wie jemand, der kontinuierlich an der alten Maschine steht. So etwas braucht Zeit, bis man die Macken und Eigenarten einer Maschine wirklich drauf hat, sich quasi blind mit einer Maschine versteht. Wenn es gerade anfängt, daß ich ein Verständnis von einer Maschine gewinne, muß ich meist schon wieder an eine andere. Infolgedessen würde ich tippen, daß ich mit der Maschine nur ca. 80% der Leistung erziele, die der Mann erzielt, der immer mit der Maschine arbeitet".*

Die Beobachtung, daß im betrieblichen Alltag Springern in der Regel weniger komplexe Bauteile zugewiesen bzw. ihnen längere Bearbeitungszeiten zugestanden werden, belegt die Gültigkeit des Zusammenhangs zwischen dem möglichen Ausschöpfen des Leistungspotentials und einer längeren und kontinuierlichen Arbeit mit einer Maschine, in der ein "inniges" Verständnis der Maschinenspezifika entstehen konnte. Eine Fachkraft beschreibt seine 10-jährige und kontinuierliche Arbeit mit einer CNC-Drehmaschine dementsprechend:

*"Mensch und Maschine müssen irgendwie harmonisieren, das muß genau hinhauen, sonst hat das keinen Zweck bei solcher Arbeit. Sie können nicht einfach so gleichgültig irgendwo durchfahren, irgendwann bestraft sich das. Ich sage immer, "wenn die Maschine heute schlechte Laune hat,*

*dann geht gar nichts". Das ist etwas übertrieben, aber im Ernst, das muß alles so ein bißchen im Einklang sein, wenn Sie so eine Arbeit machen."*

Das hier zitierte Bild einer "Harmonie" beschreibt eine emotionale Bindung an die Maschine. Diese ist mit verantwortlich für ein tiefgehendes und weitreichendes Kennenlernen und Einbeziehen-Können von spezifischen Maschinencharakteristika. Ohne ein auch emotionales Sich-Einlassen auf Maschine und Prozeß funktioniert dies tiefgehende Verständnis offensichtlich nicht.

Identifikationsmöglichkeiten mit der Arbeit entstehen damit verbunden auch über Arbeitsmittel, über die gewohnte Maschine, das Werkzeug und sonstige Hilfsmittel. Hier kommt der Leistungsfähigkeit, dem Umfang der Funktionalitäten der Maschine, aber auch der Schwierigkeit und Anforderung, mit einer einfachen und mackenreichen Maschine hochwertige Arbeitsergebnisse zu erzielen, eine gleichzeitig motivations- und statusstiftende Bedeutung zu. Die soziale Stellung (Prestige usw.) unter den Facharbeiter-Kollegen trägt wesentlich zum Selbstwertgefühl hinsichtlich der eigenen Arbeitsleistung bei. In den untersuchten Betrieben zeigte sich, daß der soziale Status unter den Facharbeitern mit der Leistungsfähigkeit, dem Wert "ihrer" Maschine sowie mit der erfolgreichen Bearbeitung komplexer und "schwieriger" Teile korreliert. Insofern stellt sich mit der Abstufung der Maschinen auch eine Abstufung der Geltung innerhalb der Werkstatt ein (FhG-ISI 1992; Carus u.a. 1992b). Diese Geltung wird reproduziert und bestätigt, wenn Fachkräfte bei Problemen von Kollegen, aber auch von Meister, Konstrukteur oder Monteur gefragt werden.

### **Erleben von Herausforderung und Bestätigung**

Motivierende Aspekte bestehen insbesondere im Bewältigen von Anforderungen und im Überwinden von Hindernissen, die als Herausforderung erlebt werden. Solche Herausforderungen finden sich u.a. bei der Fertigung neuer und komplexer Teile, bei der Arbeit mit einer neuen Maschine oder beim Fertigen unter besonderen Umständen, z.B. *"wenn das Teil so eilig ist, daß der Monteur in Hemdsärmeln danebensteht"*. Zur exemplarischen Veranschaulichung folgende Aussagen:

*"Das befriedigt einen, bei einem komplizierten Teil habe ich das Programm erstellt oder wichtige Änderungen angebracht und es läuft. Daß man gefordert wird auch dabei. Wollen mal sagen, auch an seine Grenzen stößt, das reizt mich, auch neue Maschinen, neue Steuerungen, aber nicht die Sachen, die man schon fünfzigtausendmal gemacht hat."*

*"Die Herausforderung besteht darin, die verschiedenen Ziele miteinander zu kombinieren. Es geht also darum, mit wenig Aufspannungen und kurzen Verfahrenen und richtiger Geschwindigkeit eine Produktqualität mit wenig Werkzeugverschleiß zu erreichen"*.

Befragt auf persönliches Erfolgserleben werden Ereignisse genannt, die im großen und ganzen mit der Bewältigung von "Problemen" zusammenhängen, wie z.B. eine besonders knifflige Fertigungsaufgabe gelöst zu haben, unter ungünstigen Randbedingungen ein Teil hergestellt zu haben, Kollegen bei der Fertigung komplizierter Teile hilfreiche Unterstützung gewähren zu können u.a. Selbstbestätigende Erlebnisse korrelieren

somit zum einen mit der zugeschriebenen Schwierigkeit einer erfolgreichen, anforderungsgerechten Fertigung. Zum anderen verweisen die Aussagen der Facharbeiter auch auf die Bedeutung der praktischen Umsetzung eigener Ideen (Witt u.a. 1988). Mit einer erfolgreichen und anspruchsvollen Fertigung, die einen vollständigen Erfahrungszyklus beinhaltet, wird ein Gefühl von Stolz verbunden. Dies ist der Fall, wenn Facharbeiter beginnend mit der Auftragsübernahme über die Erstellung der Bearbeitungsstrategie und des NC-Programms sowie der Optimierung der anschließenden programmgesteuerten Bebearbeitung bis hin zur Selbstkontrolle des Teils eigenverantwortlich arbeiten können.

Beim Erleben von Herausforderung finden sich individuell und arbeitsbiographisch geprägte Aspekte. Ein solcher Aspekt besteht hier im Überwinden eines Widerstands von seiten des Materials, das sich eigenen Gestaltungsideen "widersetzt", wie an folgender Aussage eines Facharbeiters anschaulich deutlich wird:

*"Es ist reizvoll ist, sich mit dem Metall zu messen und sich an diesem Widerstand selbst zu erproben. An der Härte des Materials kann man seinen eigenen Willen erproben. Nun läuft das natürlich über sehr große Umwege in der CNC-Fertigung, aber in der Ausbildung macht man halt sehr viel per Hand."*

### **Zusammenhang zwischen motivationaler und handlungsleitender Bedeutung von Gefühlen**

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem Erleben von positiver Herausforderung sowie der Entwicklung einer emotionalen Bindung an Maschine und Bearbeitung einerseits und dem intuitiv-erfahrungsbasierten Verständnis der Zerspannung andererseits.

Eine emotionale Involviertheit der "gesamten Person" in die Bearbeitung mit selbstbestätigenden Erlebnissen bei Erfolg und frustrierenden Erlebnissen bei Mißerfolg stellt die Brücke dar für die Ausbildung von gefühlsbetonten Wahrnehmungen und der Orientierung an Gefühlen von Stimmigkeit. Positive Gefühle bei erfolgreicher Fertigung werden z.B. assoziativ mit spezifischen Merkmale verbunden, die mit dem Bearbeitungsverlauf einhergingen. Auf diese Art kann es zur Ausbildung von vagen Erwartungsmustern erfolgreicher Bearbeitungen kommen, wobei aktuelle Abweichungen aufgrund "unguter" Gefühle erkannt werden. Ein Anteil dieser "unguten" Gefühle resultiert daher aus der Antizipation eines erlebten Mißerfolgs unter Bezug auf den aktuellen Verlauf. Ein Erfahrungslernen bzw. das Machen neuer Erfahrung zeichnet sich in der Konsequenz dadurch aus, daß Gefühlsspuren, die mit einer erfolgreichen oder nicht erfolgreichen Fertigung einhergingen, mit den vorliegenden Wahrnehmungen assoziativ verknüpft werden. Diese Verknüpfung fassen wir unter dem Begriff der Gefühlsmarke.

Anhand der Ausbildung sogenannter emotionaler Balancen läßt sich dieser Zusammenhang zwischen einer motivationalen Grundstimmung und der Nutzung von Gefühlen zur Handlungsleitung verdeutlichen. Fachkräfte sprechen bei der Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen von der

Notwendigkeit, eine Art emotionaler Balance zwischen "Angespanntheit, Unsicherheit, daß immer etwas unplanbares passieren kann" und einer "Lockerheit, einer Sicherheit, daß es läuft" psychisch aufrechtzuerhalten. Hiermit ist eine emotionale Grundspannung gemeint, die ein nötiges Engagement sicherstellt und in deren Folge es gelingt, anhand von gefühlbetonter Wahrnehmungen auch diffuse Veränderungen von Prozeßindikatoren zu bemerken. Eine solche Angespanntheit darf andererseits nicht zu Verkrampfung und Fixierung führen, die ein Wahrnehmen von handlungsleitenden Gefühlsspuren überdecken können. Somit ist ein emotionaler Zustand identifiziert, der sich zwischen den Polen emotionaler Anspannung und emotionaler Entspannung bewegt.

#### **(4) Handeln als dialogisch-exploratives Vorgehen und Bedeutung der manuellen Prozeßführung**

Sinnliche Wahrnehmung, intuitiv-assoziatives Denken und emotionales Involvement werden im Rahmen der erfahrungsgeleiteten Arbeit handlungsrelevant bzw. werden in einer charakteristischen Form des Handelns umgesetzt. Es ist ein Vorgehen typisch, in dem jeder Schritt auf dem vorhergehenden aufbaut und planende und ausführende Momente miteinander verschränkt sind. Erst im Moment des Ausführens finden Spezifizierungen und Korrekturen, also eine Anpassung eines Grobplans an die realen situativen Parameter statt. Ein solches dialogisch-exploratives Vorgehen findet sich idealtypisch bei der Facharbeit mit konventionellen Werkzeugmaschinen. Hier kann die Bearbeitungsstrategie auf einem relativ groben Niveau vorgenommen werden, sie wird vom Facharbeiter in der praktischen Ausführung und Umsetzung konkretisiert und modifiziert. Die konkrete Ausformung der Grobüberlegungen in Feinplanungsschritte erfolgt aufgrund der sinnlichen Wahrnehmung von Folgen und Konsequenzen der Prozeßführungsmaßnahme aus dem Prozeßverlauf heraus. In dieser Ausprägung ist ein solchermaßen dialogisch und explorativ zu nennendes Vorgehen bei der Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen nicht möglich. Durch die steuerungstechnisch bedingte notwendige Vorwegnahme sämtlicher aufeinander folgender Arbeitsschritte im zu erstellenden NC-Programm ist ein sequentielles Vorgehen vorgegeben. Die Leistungen qualifizierter Facharbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen werden nun gerade dadurch möglich, daß es Facharbeitern gelingt, zumindest rudimentär die Trennung von Planung und Ausführung zu überwinden: Sei es dadurch, daß sie in der Prozeßvorbereitung nur grobe Schnittwerte vorsehen, die sie dann im Moment des Einfahrens modifizieren und anpassen (Böhle u.a. 1993, S.14 f.) Auch das in den untersuchten Betrieben oft beobachtete Phänomen des Einfahrens mit offener Tür ist in diesem Zusammenhang zu nennen, da hier eine mitlaufende Überprüfung des Prozesses im Moment der maschinellen Abarbeitung möglich wird (Böhle 1992, S. 50).

Ein auffallendes Kennzeichen des erfahrungsgeleiteten Vorgehens besteht somit in seinem dialogisch-explorativem Charakter. Fachkräfte probieren, testen Grenzen aus, korrigieren und entdecken neue Zusammenhänge. Ein weiteres Merkmal besteht im Stellenwert und in der Bedeutung einer manuellen Prozeßführung. Hierunter werden bewegungskom-

patible Eingabe- und Eingriffsmöglichkeiten verstanden. Beide Kennzeichen werden im folgenden ausgeführt.

### **Dialogisch-exploratives Vorgehen**

Mittels eines dialogisch auf jeweilige Ergebnisse bezogenen schrittweisen Vorgehens wird es qualifizierten Fachkräften möglich, Einflußfaktoren zu begegnen, die im vorhinein nicht vorhersehbar sind. Dies wird exemplarisch deutlich anhand der Aussage eines Facharbeiters.

*"Wenn ein unangenehmes Geräusch, z.B. ein sehr schrilles, pfeifendes Geräusch da ist, also schrill oder was, dann versuche ich, das über Veränderungen von Drehzahl und Vorschub allmählich in Richtung eines dumpferen Tons zu verändern. Es darf auch nicht zu dumpf werden, dann kommt es zu Bruchgefahr."*

Dieses sukzessiv-herantastende Vorgehen in der Phase der Prozeßlenkung ermöglicht den Fachkräften eine situationsadäquate Anpassung der Schnittwerte an die jeweiligen nicht vorhersehbaren situationalen Gegebenheiten und Kräfteverhältnisse. Bei Wahrnehmung von "ungesunden" Phänomenen wird versucht, den Bearbeitungsverlauf schrittweise und sukzessive in Richtung "angenehmer", "ruhiger" zu manipulieren. Dieses herantastende Vorgehen in der Phase der Prozeßlenkung wird möglich, wenn in der Prozeßvorbereitung ein Spielraum hierfür eingeplant wird.

Ein Probieren, wie bestimmte Handlungsweisen und Eingriffe "wirken" und Rückmeldungen darüber in den nächsten Handlungsschritt einzubeziehen, macht ein charakteristisches Element erfahrungsgeleiteter Arbeit aus. Bei der Frage der maßhaltigen Fertigung umfaßt dies Vorgehen alle drei Prozeßphasen, wie z.B. in folgender Aussage dokumentiert wird:

*"Ja, du variiert die Maße so, daß das fertige Teil den Maßanforderungen entspricht. Je nach der Messung verändere ich entweder die Drehzahlen, wechsel das Kühlschmiermittel und dessen Dosierung. Eventuell plane ich auch an bestimmten Stellen Pausen ein, in denen ich das Material sich entspannen lasse oder ich nehme es an bestimmten Stellen einfach raus und lasse es aus drei, vier cm Höhe kurz mal runterfallen. Also solche Sachen. Das kriegst du aber nur raus, wenn du es ausprobierst."*

Ein probierendes, explorierendes Einsetzen verschiedener Handlungsmöglichkeiten mit unmittelbar möglichem Nachvollzug der jeweiligen Konsequenzen stellt eine Grundlage für die Leistungen von Facharbeitern dar, das Auftreten unplanbarer Störgrößen und neue Situationen zu bewältigen. Dies ist die Grundlage, auf der neue Erfahrungen gemacht werden. Mittels eines explorativen Verfahrens, das Planung, Ausführung und Wahrnehmung der Konsequenzen einschließt, können Zusammenhänge zwischen Ausgangssituationen, Handlungsmaßnahmen und resultierenden Konsequenzen erfahren werden. Eine wichtige Bedeutung kommt hier einem "Lernen aus Fehlern" zu, wie anhand der folgenden typischen Schilderung deutlich wird:

*"Wenn ein Fehler passiert, daß das Fertigteil nicht maßhaltig oder Ausschuß ist, lernt man daraus. Man weiß dann, in welche Richtung man geht und daß man nicht mehr sehr weit in diese Richtung gehen kann. Das pas-*



*siert beim Lernen natürlich mehr als im Alltag, einer, der das schon lange macht, der versucht ja gerade Fehler zu vermeiden."*

Gerade auch mißlungene Bearbeitungen ermöglichen somit eine Validierung vorgenommener und umgesetzter Bearbeitungsstrategien.

Weiterhin findet ein Neuerfahren statt auf dem Hintergrund gemachter Vorerfahrungen. Vorerfahrungen tragen wesentlich mit zur Orientierung und zum souveränen Umgang mit der Bearbeitung bei. Ein exemplarisches Beispiel für die Orientierung gebende Funktion der Vorerfahrung wird anlässlich eines Facharbeiters gegeben, der seine "Einarbeitung" mit dem für ihn neuen Material Aluminium schildert:

*"Bei Aluminium fühlte ich mich unsicher, das war nicht mein normales Metier. Da mußte ich mich erst an die richtigen Schnittwerte herantasten. Ich wußte zwar, daß Aluminium gegenüber VA-Stahl kleinere Drehzahlen und genügend Vorschub braucht. Auch die Geräusche sind anders, das mußte ich erst kennenlernen. Meine Erfahrung mit VA-Stahl half mir hierbei, ich konnte einschätzen, was überhaupt bei dem Material passiert, wenn ich da mit dem Fräser rangehe. So konnte ich schneller herausfinden, was hier bestimmte Geräusche bedeuteten."*

Deutlich wird, daß Geräusche, die mit Bearbeitungsverläufen bei Aluminium einhergehen, für den Facharbeiter unbekannt waren. Anhand einer vergleichbaren Funktionsweise der Zerspanung und einer vergleichbaren Grundcharakteristik konnte er diese Geräusche jedoch einordnen. Dies bot die Möglichkeit, sich an die für das neue Material optimalen Schnittgeschwindigkeiten schneller "heranzutasten".

Das dialogisch-explorative Vorgehen bietet somit die Option, aktuell auftretende Einflußgrößen einzubeziehen. Darüber hinaus ist diese Art des Vorgehens Grundlage für den Prozeß der Erfahrungsgenese.

## **Manuelle Prozeßführung**

Ein weiteres Element erfahrungsgeleiteter Arbeit mit Werkzeugmaschinen besteht im Stellenwert manuell ausgeführter Handlungsvollzüge. Solche finden sich z.B. beim Prüfen von Aufspannungen durch ein leichtes Hämmern mit einem Kunststoffhammer, beim manuellen Anziehen des Spanndrucks, beim manuellen Führen der Bearbeitung mittels Handrädern bei konventionellen Fräs- und Drehmaschinen. Auch das Ausgleichen geringer Maßungengenauigkeiten durch ein Abschmirlgeln bei laufender Drehspindel fällt in diese Kategorie der manuellen Prozeßführung.

Ein direktes Zerspanen mittels manueller Nutzung der Handräder findet sich nach unseren Befunden in der Praxis auch bei konventionellen Werkzeugmaschinen nur eingeschränkt. Generell nutzen Facharbeiter hier die Möglichkeiten, mit automatischem Vorschub und Anschlägen zu fahren, da man benötigte "gleichmäßige und genaue" Verfahrensbewegungen mit der Hand "nicht so gut" hinbekomme. Allerdings kommen manuell geführte Zerspanungsvorgänge in besonderen Fällen zum Einsatz. Ein Feld ist hier das sogenannte "Abstechen" von Werkstücken beim Drehen. Hier ist weniger eine gleichmäßige Bewegung gefordert, als vielmehr eine Abstimmung und Anpassung des Werkzeugvorschubs an den über Handräder kinästhetisch-taktil wahrnehmbaren Werkstückwiderstand. Ebenfalls



werden einzelne Späne mit der "Hand gefahren", um einen "besseren" Eindruck von den Werkstückeigenschaften zu erhalten.

Bei solchermaßen manuell geführten Werkzeugbewegungen liegt ein dialogisch-exploratives Vorgehen in einer sehr direkten Form vor: Bewegungen der Hand können sofort an sich verändernde Verhältnisse in der Werkzeug-Werkstück-Interaktion angepaßt werden. Der Fokus der Aufmerksamkeit ist auf den Eingriffsort des Werkzeugs, auf die Werkzeugspitze gerichtet, das Werkzeug wird in eine Beziehung zum eigenen Körper und dessen Grenzen gesetzt. Bedeutsam für diese Form des Erlebens ist die in solchen Fällen in besonderem Maße mögliche Auge-Hand-Koordination: Gerade durch ein simultanes Sehen, Fühlen und manuelles Beeinflussen des Werkzeugeingriffs wird die Werkzeugmaschine in ihrem Werkzeugcharakter erfahren und Werkzeugbewegungen werden als direkt verbunden mit eigenen "Hand"lungen erlebt.

Angesprochen ist hier auch die motivatorische Bedeutung einer direkten manuellen Prozeßführung. Identifikationen und selbstbestätigende Gefühle eröffnen sich in besonderem Maße, da eine Zuschreibung von Resultaten unmittelbar auf die eigene Leistung zurückgeführt werden kann. Facharbeiter beschrieben ein Gefühl "die Maschine im Griff, in der Hand zu haben" in der Regel dann, wenn ein solchermaßen manuelles Vorgehen zumindest möglich und in Grenzen genutzt wurde.

Für den Prozeß der Erfahrungsgenese und -anwendung ist hierbei relevant, daß durch eine manuelle Prozeßführung Zusammenhänge zwischen Handlungen und Zerspanungscharakteristika in einem direkten Körperbezug erschlossen bzw. "begriffen" werden. Mit dieser Form der motorischen Aneignung von Erfahrung wird ein besonderer Zugang zum Gedächtnis genutzt und aufgebaut. Situative Einflüsse, Handlungsmöglichkeiten sowie Bewegungsdosierung können offensichtlich an Bewegungen und deren Ausführung "implizit", d.h. nicht bewußtseinspflichtig angebunden werden. Mit dieser Form des motorischen Zugangs zu Gedächtnis und Behalten werden visuelle, symbolische und akustische Zugänge entlastet. Möglichkeiten taktil-kinästhetischer Rückkopplung sind gerade im Zuge der Computerisierung mit ihren einseitigen Anforderungen an das visuelle Wahrnehmungssystem und den symbolische Gedächtniszugänge bedeutsam.

Die manuelle Prozeßführung findet sich bei CNC-Werkzeugmaschinen, wie bereits angesprochen, in einer marginalen Ausprägung. Zwar können auch hier Vorschübe bei voreingestellten Achsbewegungen manuell direkt geführt, wie auch Spindelbewegungen im Einrichtebetrieb über die Richtungstasten achsspezifisch direkt manuell gesteuert werden. Allerdings fehlt dabei entscheidend die taktil-kinästhetische Rückkopplung. Infolgedessen ist eine manuelle Prozeßführung nur in sehr eingeschränkter Weise an CNC-Werkzeugmaschinen möglich. Trotzdem findet sich in rudimentärer Weise ein motorischer Gedächtniszugang, wie anhand der Schilderung eines Facharbeiters exemplarisch deutlich wird:

*"Die Richtung, in der die Spindel verfährt, habe ich über die Richtungstasten in der Hand. Wenn ich die Finger auf die Tasten lege, weiß ich auch die entsprechende Richtung, da brauche ich nicht mehr hinzugucken. Die Richtungen sind in Fleisch und Blut übergegangen."*

In der Aussage ist die Entlastung des visuellen Wahrnehmungssystems angesprochen, Bewegungen der Finger auf den Tasten sind korrespondierende Richtungen, in denen die Spindel verfährt, gedächtnismäßig zugeordnet. Eine visuelle Kontrolle ist nicht mehr notwendig.

Mit der manuellen Prozeßführung ist somit eine wesentliche Art des Vorgehens im Rahmen der erfahrungsgeleiteten Arbeit identifiziert. Zusammenfassend lassen sich mehrere Effekte nennen. Zunächst kommt dem direkten manuellen Führen von Maschine und Werkzeug eine motivationale Bedeutung zu, indem Auswirkungen eigenen Handelns über die Auge-Hand-Koordination unmittelbar erlebt werden können. Facharbeiter berichten in solchen Fällen auch eine als höher erlebte subjektive Sicherheit.

Weiterhin wird durch manuelle Prozeßführung ein grundlegendes und detailreiches Verständnis von Zerspanungszusammenhängen möglich. Facharbeiter gewinnen hierüber ein mentales Grundverständnis von maschinellen Zerspanungsabläufen. Dieses Grundverständnis umfaßt maschinelle Funktionsweisen, aber auch die Entwicklung eines Materialgefühls u.a. durch die taktil-kinästhetische Rückkopplung. Dieses Grundverständnis bringen Facharbeiter, die aus dem konventionellen Bereich kommen und an CNC-Werkzeugmaschinen überwechseln, bereits mit. Der Erwerb eines solchen Grundverständnisses läßt sich jedoch allein anhand herkömmlicher CNC-Werkzeugmaschinen nur schwer vermitteln. Dies belegt die betriebliche Beobachtung, daß an CNC-Werkzeugmaschinen Angelernte in einem eingeschränkten Teilespektrum durchaus Expertenstatus gewinnen können. Ein Herantasten an neue Materialien und neue Teile fällt aber offensichtlich schwerer, als wenn Vorerfahrungen mit konventionellen Werkzeugmaschinen und damit einhergehend ein grundlegendes Zerspanungsverständnis und Materialgefühl vorhanden sind.

### **Zusammenfassender Überblick über konstitutive Komponenten erfahrungsgeleiteter Arbeit**

In der nachstehenden Übersicht (Bild 2.9) sind die konstitutiven Komponenten erfahrungsgeleiteter Arbeit stichwortartig zusammengefaßt.

<b>Konstitutive Komponenten</b>	<b>Inhalte</b>
<b>Komplexe, sinnliche Wahrnehmung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multimodale und simultane sinnliche Wahrnehmung über verschiedene Sinne</li> <li>• Ausbildung situationsspezifischer Marken als subjektive Bedeutungsverdichtung wahrnehmbarer Prozeßdaten (Indikatoren)</li> <li>• Relationale Wahrnehmung</li> <li>• Orientierung an Gefühlen (Gefühlsmarken)</li> <li>• Ergänzung sinnlicher Wahrnehmung durch erfahrungsbasierte Antizipation und Imagination</li> <li>• Antizipation basiert auf einer konstruktiven Transformation von Vorerfahrung auf die neue Situation</li> </ul>
<b>Assoziatives, intuitives Denken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assoziatives Erinnern vergleichbarer Situationen</li> <li>• Auf der Grundlage einer (alten) Erinnerung resultiert eine (neue) Vorstellung</li> <li>• Intuitives Bewerten und Entscheiden anhand globaler Gefühle von "Stimmigkeit", gefühlsbasierten Ahnungen</li> </ul>
<b>Emotionale Beziehung zu Maschine und Prozeß</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausbilden einer emotionalen Bindung an Maschine und Zerspanungsprozeß als Voraussetzung für ein Ausschöpfen des Leistungspotentials</li> <li>• Identifikationsmöglichkeiten entstehen über Arbeitsmittel und soziale Faktoren</li> <li>• Erleben von Herausforderung hat motivierende Bedeutung</li> <li>• Gefühle von Un-/Stimmigkeit erhalten gefühlsmäßige Ladung aus Erinnerungen an negative/positive Erlebnisse bei mißlungener/erfolgreicher Fertigung</li> <li>• Ausbildung und psychische Aufrechterhaltung emotionaler Balancen als Voraussetzung für ein erfahrungsgeleitetes Arbeitshandeln mit CNC-Werkzeugmaschinen</li> </ul>
<b>Dialogisch- exploratives Handeln</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herantastendes und ausprobierendes Vorgehen als Art und Weise des Einbezugs von Störfaktoren und als Grundlage für Erfahrungserwerb</li> <li>• Manuelle Prozeßführung mit taktil-kinästhetischer Rückkopplung als besonderer motorischer Gedächtniszugang und Basis der Vermittlung eines grundlegenden Prozeßverständnisses</li> </ul>

**Bild 2.9:** Überblick über die konstitutiven Komponenten

## 2.4 Bedarf und Perspektiven zur technischen Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit

H. Rose, ISF München und K. D. Lennartz, HATI Berlin

Der Bedarf nach anderen Formen technischer Unterstützung für qualifizierte Produktionsarbeit in der Werkstatt erwächst aus zwei Defiziten, die beim Umgang mit gegenwärtig bevorzugt eingesetzter CNC-Technik entstehen. Es handelt sich um die Behinderung erfahrungsgeleiteter Arbeit und den notwendigerweise hohen zusätzlichen Aufwand im Umgang mit Werkzeugmaschinen zur Sicherung der Flexibilität in der Produktion.

Um die möglichen Leistungspotentiale erfahrungsgeleiteter Arbeit zu nutzen und die bestehenden Defizite im Hinblick auf die Flexibilität in der Werkstatt abzubauen, ist der Einsatz von CNC-Technik gefordert, die mehr an unmittelbarer Prozeßtransparenz, manueller Prozeßführung und prozeßnaher Programmerstellung orientiert ist.

### 2.4.1 Defizite gegenwärtig bevorzugt eingesetzter CNC-Technik

Eine Vielzahl gegenwärtig bevorzugt eingesetzter CNC-Maschinen behindert den Umgang mit ihnen nach dem Prinzip der erfahrungsgeleiteten Arbeit (Rose 1991).

#### (1) Behinderungen erfahrungsgeleiteter Arbeit

Für das Prinzip erfahrungsgeleiteter Arbeit hinderliche Arbeitsbedingungen entstehen:

- durch die vorherrschenden Konzepte zum Programmieren der Steuerungstechnik, die auf einer Trennung von Arbeitsplanung und Arbeitsausführung beruhen. Mit Hilfe von Symbolen (NC-Codes, Makros, Grafikelementen) müssen vorweg Programme für automatische Bearbeitungsvorgänge erstellt werden.  
Diese erzwungene Vorgehensweise erschwert das dialogisch-explorative Vorgehen, das erfahrungsgeleitete Arbeit auszeichnet. Arbeitsplanung erfolgt nunmehr nur noch als Vorausplanung. Hinderlich ist hierbei insbesondere der Zwang, die Arbeitsplanung ausschließlich mit Symbolen zu vollziehen. Handlungsbezogene Vorstellungen müssen aufgrund dieses Zwanges erst in Symbole übersetzt werden. Die Entwicklung und Nutzung von Vorstellungen auch durch Ausführung von Handlungsfolgen und Körper-Hand-Bewegungen werden beeinträchtigt.
- durch Beschränkungen der Prozeßtransparenz, d.h. des unmittelbar sinnlichen Zugangs zu automatischen Bearbeitungsvorgängen im Ar-

beitsraum der Maschine. Zu diesen Beschränkungen gehören einmal die (aus Arbeitssicherheitsgründen notwendige) Verkapselung von Maschinen, zum anderen aber auch Erschwernisse infolge der besonderen Leistungsfähigkeit von CNC-Maschinen. Aufgrund der hohen Beschleunigung und Bearbeitung komplexer Geometrien können die automatischen Bearbeitungsvorgänge unmittelbar sinnlich nicht mehr verfolgt und auch nicht mehr nachvollzogen werden.

Eine komplexe sinnliche Wahrnehmung, d.h. kombiniertes Sehen und Hören, wie es an konventionellen Werkzeugmaschinen noch weitgehend möglich war, ist so gut wie ausgeschlossen. Die Sichtfenster lassen nur einen bestimmten Blickwinkel zu und sind durch den Einsatz von Kühlschmiermitteln zumeist verschmutzt oder beschlagen. Die Geräusche aus dem Arbeitsraum der Maschine sind gedämpft und verzerrt. Es fehlt an der Vermittlung von Indikatoren für spezifische Prozeßzustände, so daß Markierungen möglich werden, die sowohl für einen Ähnlichkeitsvergleich von früheren und aktuellen Situationen wie auch für eine antizipierende Prognose von Verläufen genutzt werden können.

- durch reduzierte Prozeßführungsmöglichkeiten, da nur wenige Bedienelemente, wenn überhaupt, für getrennte Weg- und Zeitmanipulationen zur Verfügung stehen.

Außer einer Variation der Geschwindigkeiten durch den Override oder das Verfahren einzelner Achsen mit Hilfe von elektronischen Handrädern sind manuelle direkte Zugriffe auf die Maschine nicht gegeben. Eine taktil-kinästhetische Rückkopplung zum Bearbeitungsprozeß ist nicht vorhanden. Markierungen für Körper- und Handbewegungen können deshalb nur eingeschränkt entwickelt und genutzt werden. Bearbeitungsvorgänge im direkten manuellen Zugriff auf die Maschine sind ausgeschlossen. Auch wenn Bearbeitungsschritte manuell direkt vorgenommen werden könnten, bedarf es der Aktivierung von Programmbausteinen bzw. -sätzen. Schrittweises rückgekoppeltes manuelles Fertigen ist auf diese Weise nicht möglich.

## **(2) Behinderung von qualifizierter Facharbeit zur Sicherung flexibler Produktion**

Kommen in einem Betrieb NC-Verfahrensketten zum Einsatz, erweisen sich die Informationsflüsse in diesen Ketten als hinderlich für die Ausübung qualifizierter Facharbeit in der Werkstatt und damit auch für die Nutzung des Prinzips erfahrungsgeleiteter Arbeit. Die Trennung von Vorwegplanen und Bearbeiten erfolgt dann nicht nur an der Maschine, sondern auch über Abteilungen hinweg. Für das Arbeitspersonal in der Werkstatt sind die zumeist an anderem Ort erstellten umfangreichen Programme so gut wie nicht lesbar, da analytisch aufgebaut und verschachtelt; aber auch bei kürzeren Programmen sind für das Werkstattpersonal häufig Werkzeugwechsel, Technologiewerte und "kritische" Programmsequenzen nicht ersichtlich oder einsichtig. Eingriffsmöglichkeiten in automatische Bearbeitungsprozesse sind noch weiter eingeschränkt, da z.B. zur

Durchführung von Werkzeugwechsel und Werkzeugkorrekturen vorweg eingesetzte Berechnungsverfahren zu berücksichtigen sind. Sofern Programme in der Werkstatt optimiert werden, ist der Einfahraufwand aus diesen Gründen erheblich (Schulz, Spath und Storr 1993; Kochan 1993).

Bestimmte Arbeitssituationen in der Werkstatt können dann nur sehr aufwendig bewältigt werden und hindern hierdurch Flexibilität in der Produktion. Solche Situationen sind u.a. die Umplanung von NC-Programmen auf andere (als vorgesehene) Maschinen, ebenso die Durchführung von Änderungen in Programmen in der Werkstatt und von im vorherein nicht exakt festlegbaren Bearbeitungssituationen, zum Beispiel beim Einsatz vorbearbeiteter Teile, so daß die Aufspannungen sich erst bei der Bearbeitung bestimmen lassen oder Teile ein mehrfaches Umspannen erfordern. Darüber hinaus gibt es auch in komplexen Programmen häufig Bearbeitungsschritte, die sich viel einfacher direkt an der Maschine durchführen lassen.

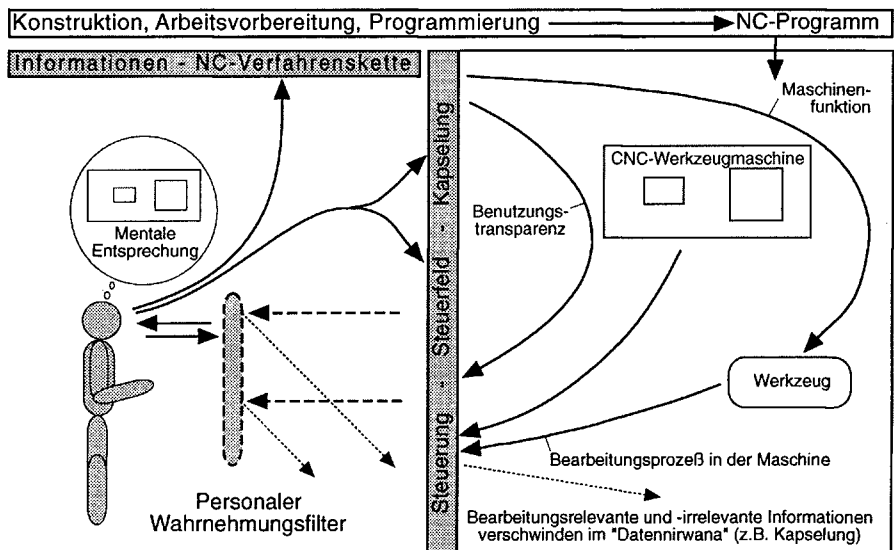
Soll die NC-Verfahrenskette effektiv nach dem Prinzip erfahrungsgeleiteter Arbeit funktionieren, so geht es darum, die unterschiedlichen Erfahrungshorizonte der an der NC-Verfahrenskette beteiligten Arbeitskräfte (Konstrukteure, Arbeitsvorbereiter, Programmierer, Facharbeiter) synergetisch zu nutzen, indem die Arbeitskräfte an den Stationen spezifisches Erfahrungswissen erwerben und einsetzen können. So wie der Konstrukteur für seine Konzepte am Reißbrett oder mit CAD-Systemen spezielle Erfahrungen über Funktionszusammenhänge von Produkten einfließen läßt, hat der Programmierer Erfahrungen für den Geometrieaufbau, mit Programmiersystemen sowie Postprozessoren und der Facharbeiter an der Maschine Erfahrungen im Umgang mit Maschinen, Werkzeugen und Materialien. Die Kooperation kann gesteigert werden, wenn es gelingt, die ausgetauschten Objekte (Zeichnung, NC-Programm, Fertigteile) für die Kommunikation aufeinander abzustimmen und zu dokumentieren. Auf diese Weise können dann die Verfahrenskette begleitenden Kommunikationsabläufe zur Bildung gemeinsamer wie spezifischer Erfahrungen genutzt werden (Lennartz und Rose 1992).

Beide Defizite (Behinderung erfahrungsgeleiteter Arbeit mit CNC-Maschinen und Behinderung des Einsatzes qualifizierter Facharbeit zur Sicherung flexibler Produktion) beschränken die Möglichkeiten für Arbeitskräfte zur Erfahrungsgenerierung und zur Erfahrungsnutzung (Bolte u.a. 1993). Die qualifizierte Fachkraft sieht sich dabei bei den gegenwärtig eingesetzten CNC - Werkzeugmaschinen zwei technisch verursachten Barrieren gegenüber. Eine Barriere besteht hinsichtlich des Informationsflusses in der NC-Verfahrenskette. Eine zweite Barriere besteht hinsichtlich der Steuerung und der Bewegungen der Maschine. Diesen Zusammenhang soll das folgende Bild 2.10 veranschaulichen.

Auf der linken Seite steht die Arbeitskraft. Ihr gegenüber befindet sich auf der rechten Seite die CNC-Werkzeugmaschine. Dazwischen liegt die erste psychische Barriere, da die Arbeitskraft nur über die CNC-Steuerung Maschinenbewegungen auslösen kann. Die Optionen der Steuerungen sind über das Steuertableau in Verbindung mit Anzeigevorrichtungen verfügbar. Sogenannte originäre, d.h. direkte, unvermittelte Prozeßindikatoren entfalten sich im Zerspanungsprozeß, um dann auf die Innenseite der



ersten Barriere zu stoßen. Das führt zur Reduzierung bearbeitungsrelevanter wie -irrelevanter Information gleichermaßen. So be- oder verhindern z.B. der Einsatz von Kühlschmiermitteln durch Beschlagen oder Zerkratzen der Sichtscheiben den Blick nach innen auf die Zerspanung. Auch die Geräusche der Bearbeitung bzw. der Maschinenfunktionen werden gedämpft oder verzerrt, so daß sie ein Teil ihres Informationswertes verlieren. Ebenso werden taktil wahrnehmbare Vibrationen gefiltert oder sind nicht mehr erspürbar. In ähnlicher Weise stellt sich das Problem für "vermittelte", d.h. auf technischem Wege der Wahrnehmung zugänglich gemachte Indikatoren. So wird zwar eine Reihe von Werten angezeigt, die jedoch meist nur eine einseitige Bedeutung für die aktuelle Situationen haben.



**Bild 2.10:** Psychische Barrieren für erfahrungsgeleitete Arbeit

Gegenüber der NC-Verfahrenskette besteht eine zweite Barriere, da die Arbeitskraft unmittelbar keine Informationen über die Entstehung von Programmen hat und lediglich durch ausgedruckte oder angezeigte Programme bzw. Programmteile und Prozeßzustände Rückschlüsse ziehen kann.

Für den Facharbeiter entstehen durch die technischen Barrieren zwei psychische Barrieren, und zwar hinsichtlich der Wahrnehmung von Prozeßindikatoren einer Output-Barriere und hinsichtlich der Ein- und Zugriffe auf den Bearbeitungsprozeß einer Input-Barriere. Die Output-Barriere behindert im Vergleich zur konventionellen Werkzeugmaschine die Rückkopplung aus der Bearbeitung und damit den sinnlichen Zugang zum Zerspanungsprozeß. Indikatoren, die die Output-Barriere überschreiten, werden durch die personale Wahrnehmung noch einmal nach den Gesetzen

der selektiven Wahrnehmung gefiltert. Erst die den personalen WahrnehmungsfILTER durchdringenden Wahrnehmungen tragen zu einer mentalen Vorstellung des Gesamtprozesses bei. Der Facharbeiter arbeitet mit der Maschine mittels seiner Kenntnisse, seiner Fertigkeiten und seiner Erfahrung. Relevant für seine Entscheidungen bei Prozeßvorbereitung, -lenkung und -auswertung sind vor allem der Zusammenhang von ProzeßäUßerungen und deren Bewertung. Inwieweit der Facharbeiter zu- und eingreifen kann, hängt von den angebotenen Optionen ab. Hier stellt die Benutzungsoberfläche aus der Perspektive des Facharbeiters eine Input-Barriere dar, wenn die technischen Angebote nicht der Anforderung entsprechen, einen seiner Wahrnehmung und dem Bearbeitungsprozeß gemäßen Zu- und Eingriff vornehmen zu können.

Erfahrungsgeleitete Arbeit kann gefördert werden, wenn die für den Facharbeiter bestehenden psychischen Barrieren überwunden werden.

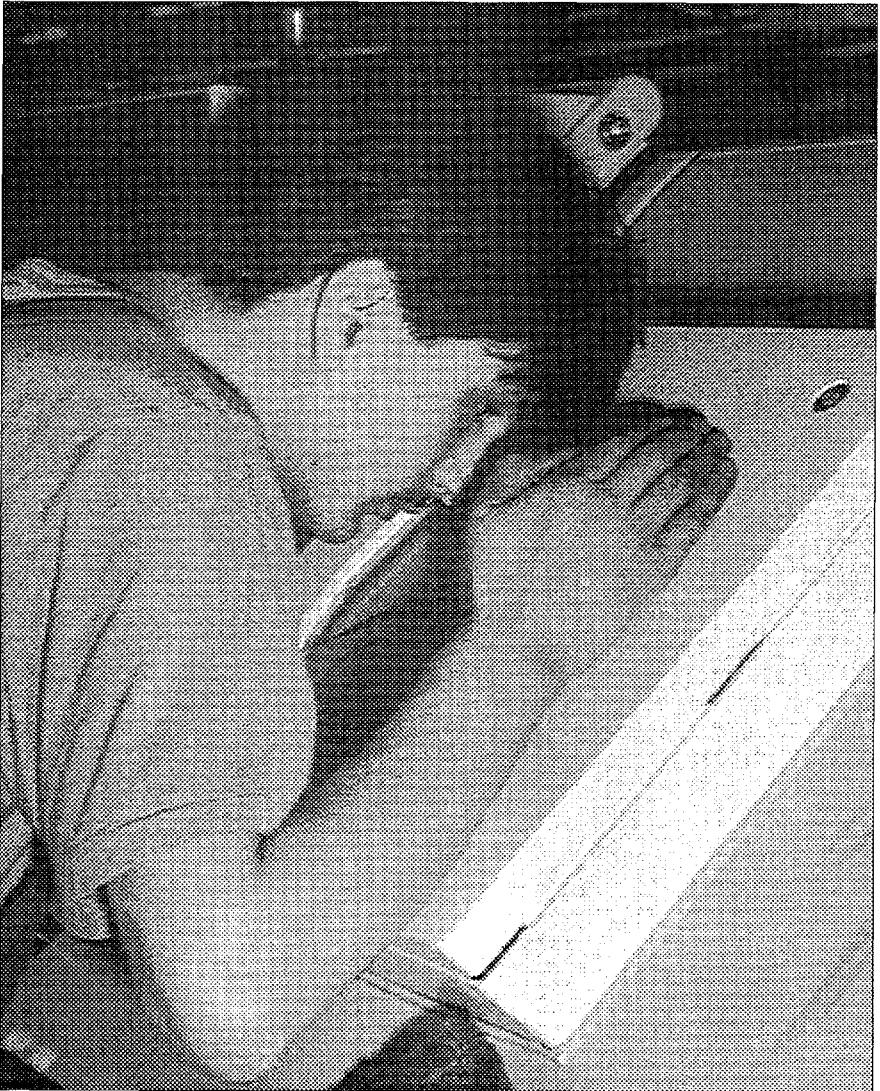
#### **2.4.2 Perspektiven für Optionen zur technischen Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit**

Um die Barrieren für die qualifizierte Arbeitskraft in der Werkstatt abzubauen, gilt es, durch neue technische Optionen die Distanz zum Prozeß zu überwinden und mehr Prozeßnähe zu gewährleisten. Dazu bieten sich drei Ansatzpunkte an. Einmal geht es um die Erhöhung der Prozeßtransparenz, zum zweiten um erweiterte Möglichkeiten der Prozeßführung und schließlich um einfachere Formen der Programm- bzw. Arbeitsplanerstellung.

##### **(1) Erhöhung "sinn"voller Prozeßtransparenz**

Das kompetente Umgehen mit einer Werkzeugmaschine erfordert ein besonderes Verhältnis zur Maschine, das weit über eine von Außen bestimmte Beeinflussung hinausgeht. Hierbei handelt es sich um "Einfühlung" in die Bearbeitung, die so stark werden kann, daß es zu einem Erlebnis des "Verwachsenseins mit der Maschine" kommt, als sei diese der verlängerte Arm der Arbeitskraft (Böhle und Rose 1990). In Bild 2.11 und Bild 2.12 ist diese Einfühlung in die Bearbeitung deutlich zu sehen. Gerade das gefühlsbestimmte Verhältnis zur Maschine und zum Prozeß erlaubt nämlich besonders "virtuose" Leistungen.

Mögliche Realisierungen für "sinn"-volle Maschinenkonstruktionen sind u.a. die Verbesserung der Sicht in den Arbeitsraum der Maschine durch eine geeignete Auslegung der Verkapselung und des Sichtfensters, Maßnahmen zur Verhinderung der Sichtbeeinträchtigung durch das Kühlschmiermittel (Carbon und Heisig 1992) wie auch die verbesserte Dämmung von störenden Maschinengeräuschen, verbunden mit der gezielten Hervorhebung von bestimmten Bearbeitungsgeräuschen (z.B. einstellbare "Schallschlitze") .



**Bild 2.11:** Einfühlung in die Bearbeitung (Sehen)

Da die Bearbeitungsprozesse im Arbeitsraum der Maschine (als Folge der Verkapselung von Werkzeugmaschinen, der Nutzung neuer Schneidstoffe und dem Einsatz moderner Bearbeitungsverfahren wie z.B. Hochgeschwindigkeitsbearbeitung) nicht mehr oder nur sehr eingeschränkt direkt wahrnehmbar sind, geht es darum, mit Hilfe von Sensoren neue Möglichkeiten der Wahrnehmung von Prozeßäußerungen zu realisieren. In Frage kommen z.B. Luft- und Körperschallsensoren zur Erfassung von Bearbei-





**Bild 2.12:** Einfühlung in die Bearbeitung (Hören)

tungsgeräuschen (Mertens und Rose 1992; Ligner 1992; Carus, Schulze und Ruppel 1992), Kraft-/Momentensensoren zur Erfassung von Bearbeitungskräften und Schwingungen sowie thermische Sensoren zur Erfassung der Werkzeugtemperatur.

Bei der Darstellung von Sensorsignalen gilt es insbesondere zu beachten, daß, - damit die Komplexität des Kontextes erhalten bleibt - verschiedene Pfade der Wahrnehmung gleichzeitig auf unterschiedliche Weise aktiv werden können und daß die akustische oder taktil-kinästhetische Prozeßwahrnehmung oft leichter fällt als die visuelle Erfassung von Zeichen. Wenn die Arbeitsereignisse komplex und kontextbezogen sind und wenn hierbei verschiedene Sinne und auch Gefühle stark beteiligt werden, dann lassen sich diese Ereignisse als Erfahrungsmuster leichter multimodal behalten (entsprechend der gleichzeitigen Nutzung visueller, auditiver, taktil-kinästhetische und sensumotorischer Wahrnehmungskanäle). Die mentale Verfügbarkeit des ganzen Musters ist dann später auch bei Aktivierung nur eines Wahrnehmungskanals gegeben. (Lennartz und Rose 1992) Damit ist ein äußerst effektiver Zugang zu gespeicherten Erfahrungen möglich.

Diese Sichtweise über den Einsatz von Sensorik weicht von der vorherrschenden Einschätzung über deren Anwendungsbereiche ab. Diese sucht nach systemtechnischen Lösungen, um durch Signalerfassung und -aufbereitung Bearbeitungsprozesse noch weitergehender automatischer Überwachung zugänglich zu machen. Dabei wird angenommen, daß einzelne Signale und ihr Verlauf genügend Informationen enthalten, um automatisch Überwachungseffekte auszulösen. Unter der Perspektive erfahrungsgeleiteter Arbeit muß diese Annahme bezweifelt werden, vor allem bei der Bewältigung komplexer Situationen (in denen mehrere Parameter gegeneinander abgewogen und bewertet werden müssen). In derartigen Situationen bedarf es der Nutzung von Erfahrungsmustern.

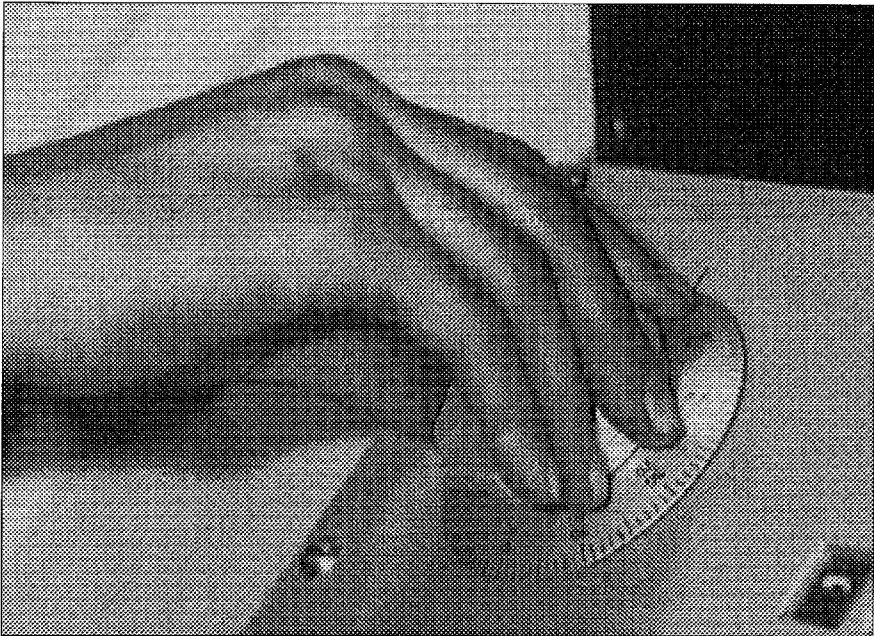
## **(2) Steigerung aktiver Prozeßführung**

Zusammen mit der visuellen Wahrnehmung der Spanform und der akustischen Wahrnehmung des Bearbeitungsgeräusches werden durch die Bearbeitung hervorgerufene Schwingungen der Maschine sowie die aufzuwendenden Kräfte beim manuellen Zustellen unmittelbar über die Hand wahrgenommen. Das Materialgefühl steckt sozusagen in den Muskeln und Fingern als "Fingerspitzengefühl" (Böhle und Milkau 1988). Die Kräfte, die für die Zerspanung aufgewendet werden müssen, sowie die daraus bei einer bestimmten Werkstoff-Schneidstoffpaarung sich ergebenden Schwingungen der Maschine fügen sich zu einem typischen Erfahrungsmuster zusammen.

Die sensorische Kraftmessung oder eine Strommessung am Spindelmotor mit Kraftrückkopplung auf den Overrideregler, das elektronische Handrad oder eine Art "Joystick" stellen Möglichkeiten dar, auch bei NC-gestützter Arbeit den Zusammenhang zwischen gewollter Aktion und Kraftaufwendung erfahrbar zu machen.

Da bei der Zerspanung die visuelle Wahrnehmung weitgehend auf das Beobachten von Werkzeugbewegung, Positionsanzeigen, Spanform und -farbe sowie zusätzlicher Instrumente konzentriert ist, sollte so weit wie möglich die taktil-kinästhetische Wahrnehmung zur Bewertung von Prozeßzuständen eingesetzt werden können. Muß man das Auge in einer kritischen Bearbeitungsphase vom Bearbeitungsvorgang abwenden, so entsteht eine störende "Wahrnehmungslücke", nach der sich der Gesichtssinn wieder neu orientieren muß. Der taktilen Erfahrung können u.a. folgende Prozeßparameter zugänglich gemacht werden: die Vorschubgeschwindigkeit, die Empfindlichkeit des elektronischen Handrads, die aktive Achse oder die Bewegungsrichtung bei gleichzeitigem Verfahren mehrerer Achsen, aber auch die gezielte Änderung von Vorschub und Bearbeitungsrichtung sowie von Bearbeitungskräften und Schwingungen. Wie umgangssprachlich treffend ausgedrückt, geht es Facharbeitern darum, "ihre" Maschine fest "im Griff" zu haben. Dabei ist zu beachten, daß die Bedienelemente (Schalter, Handräder, Regulierknöpfe) in Abhängigkeit von der gestellten Aufgabe sehr unterschiedlich ausgebildet sein müssen. Aus Bild 2.13 wird deutlich, daß zur Feinregulierung der Maschinenbewegung ein Regulierknopf ganz bestimmte Eigenschaften besitzen

muß, damit ein sinnliches Verhältnis zwischen Mensch, Maschine und Prozeß erreicht wird.



**Bild 2.13:** Feinregulierung der Maschinenbewegung

An diesem Bedarf gilt es anzusetzen und die gegenwärtig verfügbare Funktionalität zur Handbedienung zu verbessern. Als sinnvolle heute schon realisierte Funktionen, die an Handbedienpults von NC-Steuerungen bereits implementiert sind, lassen sich ansehen: elektronisches Handrad; Umschaltung der Empfindlichkeit des elektronischen Handrads; Umschaltung der aktiven Achse; Override-Regler; Taste zum Einspeichern von Positionen; Magnethaftung des Handbedienpults.

Als weitere noch nicht verfügbare Optionen sind zu entwickeln:

- Die Anzeige der Achspositionen. Dies würde den Bedienungskomfort bedeutend erhöhen und häufig das lästige Hin- und Herwechseln zwischen Handbedienpult und Steuerung überflüssig machen.
- Die Umschaltung der Rastung des elektronischen Handrads, entsprechend den unterschiedlichen Erfordernissen der Erzeugung einer ruckfreien kontinuierlichen Bewegung und einer gezielten Positionierung.
- Das Abfahren eines Programms über das elektronische Handrad. Für die Regelung des Abfahrens eines Programms mit direktem Sichtkontakt auf den Bearbeitungsprozeß wird -wenn vorhanden- häufig der Over-



rideregler verwendet. Eine Möglichkeit des "Rückwärts-Fahrens" wäre günstig, insbesondere in Verbindung mit dem Korrigieren von NC-Sätzen.

- Die Korrektur von bestimmten NC-Sätzen direkt am Handbedienpult. Zur Zeit ist es erforderlich, zur Korrektur eines NC-Satzes immer zur Steuerung zu wechseln.
- Die Regelung und Speicherung der manuell am Overrideregler eingestellten Schnittwerte im Bearbeitungsprogramm und in Erfahrungswertdateien.

Technische Unterstützung für erfahrungsgeleitete Arbeit folgt damit anderen Perspektiven als sie durch die Leitvorstellung weitestgehender Automatisierung gegeben sind. Derartige Vorstellungen suchen nach einer Reduzierung manueller Eingriffe, insbesondere mit der Begründung, Fehlerquellen auszuschalten. Es geht dann nur noch um einige wenige Bedienmöglichkeiten mit eindeutig zugeordneten Funktionen. Bei erfahrungsgeleiteter Arbeit ist es dagegen wichtig, daß es neben erweiterten Eingriffsmöglichkeiten auch Zugriffe auf Maschinenbewegungen gibt, also eine Vielfalt von Optionen, die je Kontext und Person Handlungsvariationen gestatten.

### **(3) Maschinennahe Programmerstellung und -änderung**

Die Erstellung von NC-Programmen wird Facharbeitern durch ein ihrem Arbeitshandeln angepaßtes Vorgehen erleichtert. Facharbeiter bilden sich bei ihrer Arbeit Varianten des Handelns als eine Art "inverse Assoziation". So entwickeln sie Vorstellungen über die notwendige Bearbeitung entsprechend bereits erlebter Handlungen: Was einmal getan worden ist, kann gleichsam wie "im Film" in einer ähnlichen Situation assoziativ verfügbar gemacht werden. Neuere Untersuchungen haben deutlich gemacht, daß bei der Programmierung durch Facharbeiter die Variantenbildung nicht als Variante des Programms sondern als Variante der Handlungsfolge bei der realen Bearbeitung vorgestellt und danach "übersetzt" wird (Böhle und Rose 1990).

Im Gegensatz zur Arbeit mit einem maschinenfernen Programmiersystem bietet die prozeßnahe handlungsadäquate Programmerstellung mehrere Vorteile:

- Die unmittelbar erlebte Einheit von manueller Aktion, taktilen Spüren und Beobachtung der Maschinenreaktion bewirkt eine hohe Sicherheit der Handlung auch bei komplexen Bearbeitungsaufgaben.
- Da der Maschinenzustand und die Prozeßparameter direkt erfahren werden, können Bearbeitungsabschnitte sehr stark intuitiv geleitet durchgeführt werden. Dadurch kommt es zu mentaler "Entlastung", da keine einseitige Aufmerksamkeit erforderlich ist und die Anspannung bei Konzentration "körperlich abreagiert" werden kann.
- Darüberhinaus entfällt die Umsetzung eines durch Bewegungsabläufe körperlich empfundenen präsenten Prozeßablaufs in die Sprache des NC-Programms. Eine solche Übersetzung erfordert zusätzlich eine hohe Konzentration und nervliche Anspannung, insbesondere wenn das Ergebnis der Übersetzung nicht direkt erlebt werden kann.

Deshalb sind zum einen schon vorhandene alternative Programmierverfahren wie z.B. "Teach In - Play Back" sowie die Verfahren unterschiedlicher Steuerungen zur maschinennahen Eingabe von Geometriewerten wieder verstärkt in die Überlegungen zur Gestaltung werkstattadäquater NC-Steuerungen einzubeziehen. Zum anderen müssen Vorschläge für eine Verbesserung der prozeßnahen Erstellung und Korrektur von NC-Programmen erarbeitet werden. Ein Beispiel hierfür sind die Kombination von manueller Eingabe und Speicherung von Bearbeitungspositionen oder Verfahrenswegen mit den eher auf programmtechnische Weise erzeugten Teilen eines NC-Programms oder von Bearbeitungsmakros. Elemente eines derartigen Anforderungsprofils sind (Lennartz und Rose 1992):

- Benutzung von Makros, ohne ein Programm erstellen zu müssen. Denkbar sind eine NC-spezifische Erweiterung des automatischen Vorschubs mit höherer Funktionalität.
- Speichern und Anpassen von Makros (Recorderfunktion für wiederverwendbare Bewegungsabläufe).
- Programmerstellung in Analogie zu konventionellen Vorgehensweisen
- Realisierung von erweiterten Möglichkeiten des optionalen Einsatzes von Teach-In Verfahren und Verbindung mit konventionellen Methoden der Programmerstellung (Einzelsatz-Programmieren, Programm-Aufzeichnung).
- Editiermöglichkeit für die im Teach In-Verfahren erstellten Programmabschnitte.
- Überarbeiten eines NC-Programms durch Einfügen eines von Hand erzeugten Abschnitts. - Verbesserte Lesbarkeit von komplexen oder umfangreichen NCProgrammen.
- Erleichterung des gezielten Zugriffs auf bestimmte NC-Sätze und Vereinfachung der Programmkorrektur.

In Zukunft gilt es zu prüfen, ob die hier erläuterten CeA-Anforderungen ("sinnvolle" Prozeßtransparenz, "aktive" Prozeßführung und "prozeßnahe" Programmerstellung) auf einem mit der Steuerung gekoppelten multifunktionellen (ggf. auch mobilen) Prozeßführungsmodul realisiert werden können. Die Nutzung derartiger Module könnte wiederum erleichtert werden, wenn sich das Konzept offener Systemarchitekturen und objektorientierten Programmierens durchsetzen würde.

Erfahrungsgeleitete Arbeit erfordert demnach für ihre adäquate technische Unterstützung ein Umdenken hinsichtlich der Programmierkonzepte. Während beim Anspruch weitestgehender Automatisierung Programmieren, Einrichten, Einfahren und Überwachen analytisch getrennt behandelt werden, läßt dies die Perspektive erfahrungsgeleiteter Arbeit nicht zu. Vorweg-Programmerstellung, schrittweises manuelles Bearbeiten und maschinennahe Programmänderungen beim Zerspanen bedürfen dann einer Instrumentierung, die auch für das Einfahren, Optimieren und Überwachen genutzt wird. Erst durch den Einsatz gleicher Instrumente kann das Gefühl der Prozeßnähe entstehen.

#### **(4) Erfahrungsgeleitete Kooperation**

Die Entwicklung neuer technischer Konzepte für die NC-Technik muß auch Alternativen zu den bisherigen Formen der Informationsübertragung zwischen Werkstatt, Arbeitsvorbereitung und Konstruktion berücksichtigen. Im Betrieb bestehen vielfältige interpersonelle Kommunikationsbeziehungen, die nach Ansicht von Betriebspraktikern für das Funktionieren und die Effektivität der NC-Verfahrenskette eine entscheidende Rolle spielen, häufig aber von Systementwicklern unterschätzt werden. Der direkte Erfahrungsaustausch zwischen den Arbeitskräften, z.B. durch gemeinsame Erörterung von Fehlern und erforderlichen Korrekturen, die Kommentierung von Arbeitspapieren oder die gemeinsam durchgeführte Simulation eines NC-Programms vereinfachen die Informationsübermittlung und führen zu erhöhter Sicherheit im Arbeitshandeln. Das persönliche Vortragen hilft vor allem, die Bedeutung von Informationen leichter zu erfassen, so daß Fehler der Informationsübermittlung sofort erkannt und verbessert werden können.

In der betrieblichen Praxis kommt es neben Anstrengungen zur -kaum vollständig erreichbaren- Vermeidung von fehlerhaften Informationen insbesondere darauf an, durch die Entwicklung der betrieblichen Kooperation die Kenntnis über die objektiven Bedingungen und Schwierigkeiten der kooperierenden Abteilungen zu erhöhen und dadurch die NC-Verfahrenskette fehlertoleranter zu gestalten. Zur technischen Unterstützung dieser Kooperation bedarf es neuer Schnittstellen zwischen der Werkstatt und den anderen Bereichen der NC-Verfahrenskette. Der Informationsfluß sollte bidirektional über verschiedene Ein- und Ausgabemedien des Informationsaustauschs stattfinden - nicht nur einseitig von "Oben nach Unten" wie bei den heute vorherrschenden Systemkonzepten. Gefordert ist ein Aufgabenetz mit verteiltem Erfahrungswissen, das sich sowohl auf die elektronische Datenübermittlung als auch auf die interpersonelle Kommunikation stützt.

## **2.5 Ökonomische Aspekte erfahrungsgeleiteter Arbeit**

Matthias Klimmer und Gunter Lay, FHG-ISI Karlsruhe

### **2.5.1 Wirtschaftliche Bewertung von technischen Veränderungen**

Dem Wissen und der Erfahrung von Arbeitskräften wird in der betriebswirtschaftlichen Forschung und Praxis seit Frederic Taylor eine wichtige Rolle beigemessen. Die ökonomische Bedeutung dieser Faktoren wurde allerdings lange Zeit nahezu ausschließlich unter Kostenaspekten diskutiert. In der Tradition tayloristischen Denkens wurde argumentiert, daß Wissen und Erfahrung von Arbeitskräften für Unternehmen Potentiale zur Reduzierung von Stückkosten bzw. Absatzpreisen eröffnen.

So wurde ausgehend von einer Mitte der 30er Jahre im amerikanischen Flugzeugbau durchgeführten Untersuchung zur relativen Veränderung von Stückkosten in Abhängigkeit der kumulierten Ausbringungsmenge in zahlreichen empirischen Studien für verschiedene Branchen der Nachweis geführt, daß mit jeder Verdoppelung der kumulierten Produktionsmenge die unmittelbar zur Produktion notwendige Arbeitszeit um einen bestimmten Prozentsatz abnimmt (Hieber 1991, S. 10). Diese Produktivitätssteigerungen waren in erster Linie auf Zeiteinsparungen bei manuellen Tätigkeiten in stark arbeitsteiligen Produktionsstrukturen der Serien- und Massenfertigung zurückzuführen (sog. Übungsgewinne). Die unter dem Begriff "Lernkurvenkonzept" zusammengefaßten Resultate fanden in zahlreichen Unternehmen Eingang in die Planung und Kontrolle von Kosten und Zeiten bei der Angebotskalkulation.

Eine Erweiterung über die enge Betrachtung des Produktionsbereichs erfuhr das Lernkurvenkonzept durch das sog. Erfahrungskurvenkonzept, das 1966 von der amerikanischen Beratungsgesellschaft Boston Consulting Group formuliert wurde. Demzufolge nehmen die in der Wertschöpfung eines Produktes enthaltenen Kosten mit jeder Verdoppelung der Produktionserfahrung bzw. -menge um etwa 20-30 Prozent ab, und zwar in einem Industriezweig als Ganzes, wie auch bei einzelnen Anbietern (Henderson 1974, S. 19). Im Unterschied zum Lernkurvenkonzept wird damit der Verlauf der durchschnittlichen Gesamtstückkosten in Abhängigkeit der kumulierten Ausbringungsmenge beschrieben. Aus den Erkenntnissen der Relationen zwischen Preis, Kosten und Marktanteilen wurden auf der Basis von Kosten- und Preisprognosen Schlußfolgerungen für die Entwicklung strategischer Unternehmenskonzepte gezogen. Bis in die 80er Jahre hat das Erfahrungskurvenkonzept das strategische Managementdenken stark beeinflußt.

Mit zunehmendem Einsatz neuer Technologien und dem damit einhergehenden Rückgang manueller Tätigkeiten sowie der vom Markt verlangten Notwendigkeit einer flexiblen Fertigung verlor das klassische Lern- und Erfahrungskurvenkonzept allerdings immer mehr an praktischer Bedeutung: Einerseits sind die Voraussetzungen für sog. Übungsgewinne, d.h. Einproduktfertigung, große Stückzahlen sowie ein auf ein bestimmtes Produkt ausgerichtetes Produktionssystem, immer weniger gegeben. Andererseits deutet sich an, daß die Ermittlung von Lern- und Erfahrungskurveneffekten für den Bereich der flexiblen Produktion im Vergleich zur traditionellen Lern- und Erfahrungskurvenanalyse mit einem erheblichen Mehraufwand verbunden ist (Hieber 1991, S. 249).

Vor dem Hintergrund veränderter Marktanforderungen und der Erfahrungen mit dem Einsatz und der Vernetzung computergestützter Fertigungstechniken zeichnet sich in der betriebswirtschaftlichen Forschung und Praxis eine neue Sichtweise der ökonomischen Bedeutung von Erfahrung ab. Die Erfahrung der Arbeitskräfte wird nicht nur als Beitrag zur Produktivitätssteigerung (insb. Kostensenkung), sondern als wesentliche Quelle für Qualitätsverbesserungen und Flexibilitätssteigerungen betrachtet. Entgegen der Annahme früherer Jahre wird für die Verbesserung der Qualität, die Steigerung der Produktivität und die Reduzierung von Entwicklungs- und Durchlaufzeiten nicht mehr so sehr das Leistungspotential

neuer Technologien, sondern vielmehr das Engagement und Erfahrungswissen der Mitarbeiter als maßgeblich erachtet. Für die schnelle Durchsetzung von Produktions- und Produktinnovationen am Markt werden daher verstärkt Investitionen in die Problemlösungskapazität der Mitarbeiter als in Betriebsmittel für notwendig erachtet (z.B. Wildemann 1993; Warnecke 1992). Bezüglich der ökonomischen Bedeutung des Erfahrungswissens sind wohl folgende drei Gründe für diese neue Sichtweise mitentscheidend:

(1) Erfahrungswissen ist nicht bzw. nur bedingt in DV-Systemen abbildbar. Ein Charakteristikum von Erfahrungswissen ist, daß es nicht oder nur sehr begrenzt exakt definierbar und damit formalisierbar ist. Es kann somit auch nicht in DV-Systemen abgebildet werden. Dies gilt auch für die Wissensspeicherung und -verarbeitung mit Hilfe von Expertensystemen. Diese sind in ihrer gegenwärtigen Form für Anwendungsbereiche geeignet, die eine Mischung aus vorstrukturierten Entscheidungsabläufen kombiniert mit Faustregeln darstellen sowie mehr oder minder aufwendige Berechnungen erfordern. Bei der Bearbeitung komplexer und neuartiger Aufgaben stoßen Expertensysteme daher an ihre "natürlichen" Grenzen.

(2) Grenzen zentraler Planbarkeit in komplexen Aufgabensituationen. In komplexen Aufgabensituationen können in der Regel nicht alle entscheidungsrelevanten Variablen zu einem Zeitpunkt von zentraler Stelle aus umfassend berücksichtigt werden. Dies gilt umso mehr, je weiter die Zeitpunkte von Planung und Ausführung auseinanderliegen. Zum einen sind zum Planungszeitpunkt oftmals nicht alle notwendigen Informationen wie z.B. Auslastung, Rüstzustand oder Materialverhalten bekannt. Sie stehen im Herstellungsprozeß erst zeitlich später zur Verfügung. Zum anderen erhöht sich mit der Differenz von Planung und Ausführung die Wahrscheinlichkeit, daß sich zentrale Rahmenbedingungen der Planung ändern. Anlässe hierfür sind beispielsweise unvorhergesehene Eilaufträge, Krankheit von Mitarbeitern, Maschinenstörungen oder nicht vorhersehbare Kapazitätsbelegung von Betriebsmitteln durch andere Aufträge. In der Folge kann durch eine zentrale DV-gestützte Planung nicht sichergestellt werden, daß eine situativ optimale Ressourcenallokation erreicht wird.

(3) Abnehmender Grenznutzen einer DV-technischen Abbildung betrieblicher Strukturen und Prozesse.

Eine möglichst umfassende und genaue Abbildung betrieblicher Abläufe in DV-Modellen stößt auf ökonomische Grenzen. Insbesondere in dynamischen Umwelten mit hohen Anforderungen an Flexibilität, Qualität und Durchlaufzeit ist infolge erhöhter Planungsaufwände sowie der Notwendigkeit umfangreicher Betriebsdatenerfassung ein abnehmender (Grenz-)Nutzen des DV-Einsatzes zu konstatieren. Ferner zeigt sich, daß Einsatz und Unterhalt kapitalintensiver DV-Systeme aufgrund der damit verbundenen Veränderung der betrieblichen Kostenstruktur (d.h. Anstieg der Fix- und Gemeinkosten) mit ökonomischen Risiken einhergehen. Dies gilt insbesondere dann, wenn z.B. aufgrund von Auftragsschwankungen der

der Investitionsentscheidung zugrunde gelegte Auslastungsgrad nicht erreicht werden kann.

### **2.5.2 Probleme der Prozeßzugänglichkeit und der Nutzung von Erfahrung bei der Anwendung der NC-Technik**

Obwohl, wie oben gezeigt, Aufbau und Nutzung von Erfahrungswissen auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten in den letzten Jahren eine Neubewertung erfahren haben, stellt sich die NC-Technik und die NC-Organisation in ihrer gegenwärtig verfügbaren Ausgestaltung als eine Technologie dar, in der die Arbeitskräfte Schwierigkeiten haben, Erfahrungswerte zu gewinnen bzw. vorhandene Erfahrungen in den NC-Bearbeitungsprozeß einzubringen. Dies ist in hohem Maße auf die Probleme bei der direkten Wahrnehmung und Beeinflussung von tätigkeitsrelevanten Prozessen bei der Arbeit mit CNC-Maschinen zurückzuführen. Diese werden durch zwei Ursachen erschwert, die in engem Wirkungszusammenhang zueinander stehen: Die technische Gestaltung der Maschinen selbst sowie deren arbeitsorganisatorische Einbindung. Es erscheint daher zweckmäßig, im folgenden zwei Dimensionen von Prozeßzugänglichkeit bei der betrieblichen Anwendung der NC-Technik zu unterscheiden (vgl. Bild 2.10). Hinsichtlich der betriebsmittelbezogenen Dimension, d.h. dem Zugang des Facharbeiters zum maschinellen Bearbeitungs- bzw. Zerspanungsprozeß, zeichnet sich infolge der hohen Bearbeitungsgeschwindigkeiten eine zunehmende Tendenz zur Verkapselung von CNC-Maschinen ab. In der Folge besteht bei geschlossener Maschine im Automatikbetrieb kaum noch die Möglichkeit, den Zerspanungsvorgang direkt zu sehen und dessen Verlauf zu verfolgen. Darüber hinaus läßt der durch die Bearbeitungsgeschwindigkeit erforderliche Kühl-Schmiermitteleintrag eine ständige Einsicht kaum zu. Rose (1991, S. 24) konstatiert daher: "Wahrnehmungen, wie sie für die Beherrschung des Bearbeitungsprozesses notwendig sind, wie beispielsweise Bearbeitungsgeräusche, Form und Farbe des Spans, mechanische Vibrationen usw., werden so erschwert. Genau diese bestimmen aber in situativer Bewußtheit, Gewichtung und Präzisierung sowie zeitlicher Überlagerung und Korrelationen das implizite Erfahrungswissen".

Neben der direkten Inaugenscheinnahme von Zerspanungsprozessen erweist sich auch ein indirektes Nachvollziehen realer Prozeßverläufe, z.B. auf der Basis einer Interpretation sensorischer Informationen, beim Stand der derzeit gängigen softwaretechnischen Unterstützung noch defizitär (Dünwald 1990, S. 188-189). Allerdings ist hierbei äußerst fraglich, ob die für die Signalverwertung eingesetzten Muster auch in Arbeitssituationen, in denen viele Prozeßparameter variieren, aktuell aussagefähig wären (Rose 1991, S. 25). Ferner ist davon auszugehen, daß Expertensysteme z.B. für die Technologiebeherrschung und Maschinendiagnose nicht alle in einer Bearbeitungssituation auftretenden Fälle betreffen können, da das bei der Arbeit erworbene Erfahrungswissen eine Form des impliziten



Wissens darstellt und damit schwer formalisierbar ist (Martin und Rose 1990, S. 36-38).

Dimensionen des Prozeßzugangs	Zentrale Gestaltungsfelder	Gestaltungsparameter
<b>Betriebsmittelbezogene Dimension</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Art der Information</li> <li>• Form der Informationsdarstellung</li> <li>• Umfang der Informationsbereitstellung über maschinelle bzw. DV-technische Bearbeitungsprozesse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mensch-Maschine-Funktionsteilung (Automatisierungsgrad)</li> <li>• Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Benutzungsoberfläche)</li> </ul>
<b>Arbeitsprozeßbezogene Dimension</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Art der Information</li> <li>• Form der Informationsdarstellung</li> <li>• Umfang der Informationsbereitstellung über ablauforganisatorische Prozesse in vor-, nach- und übergeordneten betrieblichen Bereichen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsteilung</li> <li>• Kooperation und Kommunikation</li> <li>• Verteilung formaler Zuständigkeiten</li> <li>• Räumliche Zuordnung von Personen und Aufgaben</li> <li>• Personelle Zuordnung von Arbeitsmitteln</li> <li>• Datenhaltung, -zugriff</li> </ul>

**Bild 2.14:** Dimensionen und Gestaltungsparameter der Prozeßzugänglichkeit bei der computergestützten Arbeit

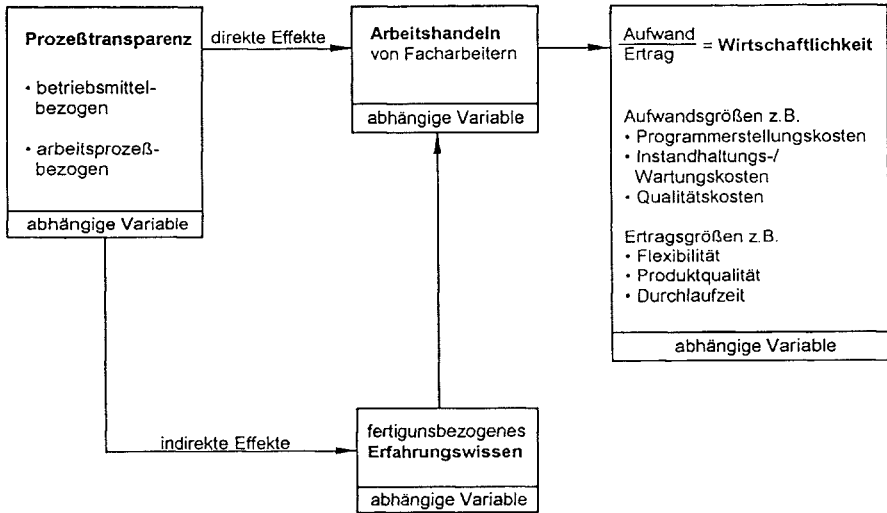
Auch hinsichtlich der arbeitsprozeßbezogenen Dimension der Prozeßzugänglichkeit, d.h. dem Zugang des Facharbeiters zu ablauforganisatorischen Vorgängen der Auftragsabwicklung, sind beim Einsatz numerisch gesteuerter Maschinen Beeinträchtigungen für die Erfahrungsbildung erkennbar. Vor dem Hintergrund, daß nur dann, wenn sichergestellt ist, daß Arbeitskräfte die Wirkungen eigener Entscheidungen und Handlungen erfahren, der Aufbau und Erhalt von erfahrungsgeleitetem Wissen gefördert wird, erweisen sich zahlreiche technisch-organisatorische Konzepte der betrieblichen Praxis als hinderlich. Dies gilt insbesondere für solche, die eine Trennung von planerisch-dispositiven Tätigkeiten vorsehen, da diese weder geeignet sind, bei dem der die Entscheidungen trifft, Erfahrungen zu erzeugen, noch bei dem, der sie ausführt (Martin und Rose 1992, S. 25). So sind beispielsweise beim Einsatz von CNC-Werkzeugmaschinen mit zunehmender Betriebsgröße vielfach arbeitsorganisatorische Konzepte auszumachen, bei denen der planerische Tätigkeitsanteil (das Erstellen

des NC-Programms) zeitlich und räumlich vom Maschinenarbeitsplatz entfernt in zentralen Arbeitsvorbereitungsbereichen erfolgt (z.B. Kief 1991, S. 911; Schulz und Bölzing 1989, S.58). Eine Rückmeldung über die Wirkungen des planerischen Handelns ist allenfalls eingeschränkt beim Einfahren der NC-Programme an der NC-Maschine möglich. Diese erfährt eine weitere Einschränkung, wenn der NC-Programmablauf auf einem Grafikbildschirm simuliert wird (Martin und Rose 1992, S. 26). Ferner erweist sich die bei größeren Unternehmen vielfach zu beobachtende Ausgliederung von Arbeitsaufgaben wie z.B. Werkzeugvoreinstellung, Qualitätssicherung und -kontrolle, Wartung und Instandhaltung in zentrale Bereiche (Becker 1992, S. 284) als wenig erfahrungsförderlich.

### **2.5.3 Ökonomische Effekte eines verschlechterten Prozeßzugangs bei der CNC-Arbeit**

Die zunehmende Einschränkung sowohl des betriebsmittel- als auch des arbeitsprozeßbezogenen Prozeßzugangs bei der CNC-Arbeit ist mit Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der computergestützten Fertigung verbunden. Diese können im wesentlichen auf zwei unterschiedliche Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zurückgeführt werden (vgl. Bild 2.15): Zum einen versetzt die Prozeßzugänglichkeit Arbeitskräfte bei der Nutzung von CNC-Maschinen in die Lage, Prozeßzustände zu bewerten und durch den Vergleich von Ist- und Sollzustand angemessene Prozeßeingriffe abzuleiten. Die Zugänglichkeit zum Arbeitsprozeß beeinflusst somit direkt die Möglichkeiten des NC-Benutzers zur Prozeßbeherrschung und damit zur Vermeidung von Fehler- bzw. Zusatzkosten bei der CNC-Fertigung (sog. direkte Wirkungen). Die Prozeßzugänglichkeit ist somit eine notwendige Bedingung zur Technologie- und Prozeßbeherrschung und damit nicht zuletzt für die Wirtschaftlichkeit der CNC-Fertigung.

Zum anderen stellt die Prozeßzugänglichkeit eine wichtige Grundlage für den Erwerb, die Anwendung und langfristige Sicherung von fertigungsbezogenem Erfahrungswissen dar. Die Prozeßzugänglichkeit gewinnt damit indirekt Einfluß auf ökonomisch relevante Größen der CNC-Fertigung wie beispielsweise die produktionstechnische Flexibilität oder Produktqualität eines Unternehmens (sog. indirekte Wirkungen). Die indirekten Effekte kommen eher mittel- bis langfristig in Unternehmungen zum Tragen und sind darüber hinaus in hohem Maße qualitativer Art. Da sich implizite Wissensanteile schon aufgrund ihrer Nicht-Formalisierbarkeit dem Versuch einer (exakten) Quantifizierung entziehen werden im folgenden exemplarisch direkte Effekte eines verschlechterten Prozeßzugangs bei der CNC- Arbeit aufgezeigt.



**Bild 2.15:** Wirkungsschema zum Zusammenhang von Prozeßtransparenz, Erfahrungswissen und Wirtschaftlichkeit

Daß sich eine verschlechterte betriebsmittelbezogene Prozeßzugänglichkeit negativ auf die Programmanlaufkosten niederschlagen kann, wird besonders beim Einfahren von NC-Programmen deutlich. Schwierigkeiten beim sog. Ankratzen bzw. Nullpunktsetzen treten hier beispielsweise bei Großmaschinen infolge der räumlichen Distanz zwischen der Maschinensteuerung und damit dem Standort des Facharbeiters und dem Berührungspunkt von Werkzeug/Werkstück auf. Aber auch bei kleineren Maschinentypen kommt es aufgrund des Einsatzes von Kühlschmiermitteln zu Sichtbehinderungen, die eine kontinuierliche Beobachtung des Programmablaufs erschweren. Wiederholte Programmunterbrechungen und lange Einfahrzeiten sind die Folge. Diese führen nicht selten zu einer Erhöhung der Einfahrzeiten von ca. 10 % gegenüber einer Einfahrsituation ohne Programmunterbrechungen. Bei mittelkomplexen Drehteilen mit einer Gesamteinfahrzeit von ca. 30 min., einem Maschinenstundensatz von 80,- DM und einem Neu- bzw. Variantenteilaufkommen von 250 Werkstücken pro Jahr können hierdurch Aufwendungen in Höhe von 1000 DM je Maschine entstehen.

Neben der betriebsmittelbezogenen erweist sich auch die arbeitsprozeßbezogene Dimension der Prozeßzugänglichkeit als wichtige Einflußgröße der Programmerstellungskosten. Dies konnte verschiedentlich gezeigt werden (z.B. Lay u.a. 1983; Ammon 1989; FKM 1993). Im Hinblick auf die hier relevanten Aspekte können folgende Ergebnisse festgehalten werden: Die ökonomische Bedeutung des arbeitsprozeßbezogenen Prozeßzugangs ist abhängig von den jeweiligen betrieblichen Rahmenbedingungen wie z.B. Werkstückkomplexität, Stückzeit, Losgröße oder

Anforderungen an Flexibilität und Qualität. Der jeweils verfügbaren Technik, ihrem Leistungspotential und nicht zuletzt ihrer Ausrichtung auf potentielle Benutzergruppen (AV- bzw. werkstatorientierte Systeme) kommt eine große Bedeutung auf die Wirtschaftlichkeit der Ausprägungsform der NC-Organisation zu. Keine Organisationsform ist daher unter allen Bedingungen wirtschaftlich bzw. unwirtschaftlich. Organisationskonzepte, die einen direkten Zugang von Facharbeitern zum Arbeitsprozeß erlauben, sind insbesondere in solchen Bearbeitungssituationen vorteilhaft, in denen dem Erfahrungswissen der Mitarbeiter vor Ort eine zentrale Bedeutung zukommt, um angesichts gegebener Rahmenbedingungen die geforderte Qualität, in einer angemessenen Zeit zu vertretbaren Kosten herstellen zu können. Mitarbeiter zentraler Bereiche (z.B. AV), die über entsprechende Fertigungserfahrungen verfügen, können auch bei ansich "ungünstigen" Bearbeitungssituationen die Nachteile einer personellen und räumlichen Trennung dispositiver und ausführender Tätigkeiten auffangen. Allerdings sind diese Möglichkeiten eingeschränkt, wenn die Bedingungen des direkten Fertigungskontextes große Bedeutung haben.

Die Möglichkeiten von Maschinenarbeitskräften zur direkten Prozeßwahrnehmung und zum Prozeßeingriff spielen auch bei der laufenden Überwachung von Zerspanungsprozessen eine bedeutende Rolle. Diese ergibt sich zum einen daraus, daß es während der Bearbeitung eines Auftragsloses zu Werkzeugbruch oder technisch bedingten Maschinenstörungen kommen kann; zum anderen aber auch daraus, daß infolge von zunehmendem Werkzeugverschleiß, von Änderungen des Materialverhaltens (z.B. Zähigkeit, Lunker) oder aufgrund von veränderten Betriebstemperaturen der Maschine Qualitätsveränderungen der zu bearbeitenden Werkstücke schnelle Eingriffe von Maschinenführern erforderlich sein können. Nicht selten ist beispielsweise beim Gewindebohren ein beträchtlicher Teil der Werkzeugbrüche auf eine fehlende Krafterückkopplung des Bohrers zurückzuführen. Den Facharbeitern fehlt die Information (bzw. das Gefühl), wie gut die Schnittqualität des Bohrers noch ist oder ob Veränderungen im Materialverhalten auftreten. Aufwendungen fallen ferner dadurch an, daß direkte Eingriffe in Prozeßabläufe durch sog. geschützte Bohrzyklen teilweise unmöglich sind. Änderungen der eingestellten Schnittwerte zur Vermeidung von Werkzeugbrüchen oder zur Erzielung der geforderten Werkstückqualität können daher oft nicht rechtzeitig erfolgen. Wie Analysen der Fehler- bzw. Qualitätskosten ergaben, verlieren die mit den Werkzeugbrüchen einhergehenden Kosten für Werkzeuge angesichts der zeit- und kostenintensiven Nacharbeiten für das Entfernen abgebrochener Bohrer (ggfs. Ausfunken) an Bedeutung. Diese Nacharbeiten machen teilweise bis zu 20 % aller in Unternehmen anfallenden Nacharbeiten aus. Geht man davon aus, daß die insgesamt in einem mittelständischen Maschinenbauunternehmen pro Jahr anfallenden Fehlerkosten sich auf etwa 300 TDM belaufen, dann können davon bis zu 60 TDM auf Einschränkungen beim Prozeßzugang bzw. -eingriff zurückgeführt werden.

Den beiden genannten Dimensionen der Prozeßzugänglichkeit kommt aber auch eine wichtige Rolle bei der Vermeidung bzw. effizienten Beseitigung technischer Störungen zu - und damit als Einflußgröße auf die in

einem Unternehmen anfallenden Aufwendungen für Instandhaltung, Wartung und Maschinenstillstand (Leerkosten). So sind hinsichtlich der betriebsmittelbezogenen Dimension folgende Wirkungen festzustellen: Aufgrund mangelnder Sichtmöglichkeiten von Maschinenführern - insbesondere in der Anlernphase ungelernter Arbeitskräfte - kommt es immer wieder zu technisch bedingten Maschinenstillständen. Diese können bis zu 30 % aller anfallenden Störungen betragen. Ihre quantitative Bedeutung ist allerdings eher gering, da die meisten dieser Störungen vergleichsweise schnell zu beheben sind. Darüber hinaus zeigte sich, daß der mit dem Einzug der Elektronik in den letzten Jahren stetig abnehmende Anteil mechanischer Maschinenkomponenten dazu geführt hat, daß sich ein Großteil des belastungsbedingten Verschleißes von Maschinenaggregaten nicht mehr in Form von Vibrationen oder Geräuschen im voraus "ankündigt". Verschleißbedingte Störungen (ca. ein Drittel aller Störungen) bei numerisch gesteuerten Maschinen treten damit vielfach unvermittelt auf. Für das rechtzeitige Erkennen der wenigen noch verbliebenen Indikatoren sich anbahnender Störungen erweisen sich in besonderer Weise maschinenspezifisch erworbene Erfahrungswerte sowie solche im Umgang mit den zu bearbeitenden Werkstücke, den eingesetzten Werkstoffen, Werkzeugen und Schneidstoffen als unabdingbar.

Hinsichtlich der arbeitsprozeßbezogenen Dimension zeigt sich vielfach, daß

- (1) organisatorische Störungen wie z.B. fehlende Teile oder Werkzeuge, Warten auf Instandhaltungspersonal wesentlichen Anteil an den Stillstandszeiten haben,
- (2) viele Störungsursachen auf Kleinigkeiten wie z.B. lockere Schrauben, schadhafte Antriebsriemen, lockere Endschalter zurückzuführen sind, die durch erfahrene und gut geschulte Maschinenfachkräfte selbst erkannt und beseitigt werden könnten,
- (3) mindestens ein Viertel der Instandsetzungszeiten für technisch bedingte Störungen durch eine weitgehende Integration von Instandsetzungsarbeiten in das Fertigungssystem eingespart werden könnten (Schehl 1990, S. 80f.).

Der ökonomische Stellenwert beider Dimensionen der Prozeßtransparenz bei der NC-Arbeit wird deutlich, wenn man sich die jährlich in einem Maschinenbauunternehmen anfallenden Kosten für Maschinenstillstand, Wartung und Instandhaltung vor Augen führt. Bei einer durchschnittlichen Maschinenstillstandsquote von 14 % der verfügbaren Kapazität (VDMA 1993) und einem durchschnittlichen Maschinenstundensatz von DM 80,- belaufen sich die Kosten für Maschinenstillstand im Maschinenbau auf jährlich mehr als 20.000 DM pro Unternehmen. Wie oben gezeigt, ist ein Teil dieser Aufwendungen auf Einschränkungen beim direkten Verfolgen von Zerspanprozessen an CNC-Maschinen zurückzuführen. Hinzu kommen Aufwendungen für Instandhaltung bzw. Wartung, die bei arbeitsteiligen Organisationskonzepten in vielen Fällen höher ausfallen als in den Unternehmen, in denen bestimmte Instandhaltungs- und Wartungsaufgaben qualifizierten Maschinenführern obliegen.

## Schlußfolgerungen

Die vorangegangenen Ausführungen machen deutlich, daß Einschränkungen der Prozeßtransparenz bei der NC-Arbeit mit unerwünschten ökonomischen Effekten verbunden sein können. Dies gilt hauptsächlich für die Kosten der Programmerstellung, die Fehler- bzw. Qualitätskosten, die Leerkosten sowie die Kosten für Instandhaltung und Wartung. Ferner konnte gezeigt werden, daß Einschränkungen der Prozeßtransparenz durch ihrer Auswirkungen auf den Erwerb, die Anwendung und die Sicherung von Erfahrungswissen indirekt auch zu Leistungseinbußen von Unternehmen führen können. Die Verbesserung der Prozeßtransparenz eröffnet demzufolge Potentiale zur Kostenreduzierung und zur Ertragssteigerung. Um diese (zumindest teilweise) auszuschöpfen, empfiehlt sich hinsichtlich der arbeitsprozeßbezogenen Dimension der Prozeßtransparenz ein Überdenken arbeitsorganisatorischer Konzepte der NC-Arbeit. Dies kann beispielsweise bedeuten, daß Maschinenführer verstärkt bei bestimmten Bearbeitungsaufgaben mit der Programmerstellung betraut werden. In zentralen Organisationsstrukturen kann ihnen die Entscheidung über die Archivierung der von ihnen vorgenommenen Programmänderungen übertragen werden. Ferner könnten Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten verstärkt von erfahrenen und gut geschulten Maschinenfachkräften selbst durchgeführt werden.

Hinsichtlich der betriebsmittelbezogenen Dimension der Prozeßtransparenz empfiehlt sich ein Überdenken vorhandener Maschinen- bzw. Systemkonzepte, um eine direkte Zugänglichkeit und Eingreifbarkeit in Zerspanungsprozesse zu verbessern. Dies gilt insbesondere für Anlagen, die primär auf Marktsegmente mit kundenspezifischer Fertigung und hohen Anforderungen an Flexibilität und Qualität abzielen. Bei entsprechenden Entwicklungsvorhaben sollten die Anforderungen der potentiellen Systemanwender stärker Berücksichtigung finden als dies bislang vielfach der Fall war.

## 2.6 Interdisziplinärer Erfahrungsaustausch als methodische Forschungsstrategie

Ursula Carus und Hartmut Schulze, Psychologisches Institut 1 der Universität Hamburg sowie Peter Golinski, CNC-Zentrum Hamburg

Im folgenden ist die methodische Forschungsstrategie dargestellt, die für die empirischen Datenerhebungen im Projektvorhaben angewandt wurde. Im Forschungsprozeß wurde ein methodisches Vorgehen entwickelt, das einerseits die vertretenen Fachdisziplinen Ingenieurwissenschaft, Sozialwissenschaft, Arbeitswissenschaft und Betriebswirtschaft und ebenso die Anwenderseite einbezieht, andererseits ein dem Forschungsgegenstand



adäquates Vorgehen zuläßt. Eine methodische Anforderung bestand darin, dem noch relativ wenig erforschten Untersuchungsgegenstand "erfahrungsgeleitete Arbeit" und geeigneter technischer Unterstützung gerecht zu werden und gleichzeitig das Know-How der am Verbund beteiligten verschiedenen Partner (Forscher, Hersteller, Anwender) effizient zu nutzen. Hierfür ist auf der Basis qualitativer Forschung ein Ansatz für "interdisziplinären Erfahrungsaustausch" auf unterschiedlichen Ebenen entwickelt worden, der in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert wird. Von besonderer Bedeutung sind zwei vorab zu nennende Prinzipien, die durch verschiedene methodische Schritte praktisch realisiert wurden:

- Erfahrungsaustausch mit Integration unterschiedlicher Perspektiven und
- Rückkopplung zum Nutzer.

Das heißt, im Forschungsprozeß selbst mußten - z.B. aufgrund neuartiger technischer Realisierungen - empirische Erfahrungen seitens der Forscher wie auch der Nutzer gemacht und auf ihre Bedeutung hin reflektiert und bewertet werden. Das erforderte einen umfassenden Einbezug der Beteiligten sowie Lern- und Erfahrungsprozesse inhaltlicher wie auch methodischer Art. Ein nutzerrückgekoppelter Ansatz war vor allem von Bedeutung, weil nicht allein konzeptuell-theoretische Aussagen Ergebnisse darstellen, sondern ebenso Realisierungen technischer Funktionalitäten für CNC-Werkzeugmaschinen an zentraler Stelle im Projektvorhaben stehen, und diese sich für ihre Eignung zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit in der Zerpanung beweisen mußten.

In den nachfolgenden Abschnitten sind nähere Ausführungen gemacht zu Fragestellung und Methode, Schwerpunkten im Forschungsvorhaben und zum allgemeinen Vorgehen, zur Ablauforganisation im Vorhaben, zu Akteuren der Forschung, grundsätzlichen Prinzipien und methodischen Instrumenten sowie zu einer abschließenden Bewertung der Forschungsstrategie.

Der Forschungsprozeß ist schwerpunktmäßig in drei Phasen abgelaufen:

Phase 1	Vorbereitung/Design Konzeptionelle Grundlagen
Phase 2	Erhebungen und Analysen Bewertungsraster für technische Funktionalitäten Konzeptionelle Schlußfolgerungen
Phase 3	Vertiefung und Anwendung Weiterentwicklung der Konzepte

Grundlegende Prinzipien waren die Aufeinanderbezogenheit der vertretenen Forschungsdisziplinen sowie die sukzessive Entwicklung von technischen Funktionalitäten und konzeptionellen Beiträgen, was im folgenden in einzelnen Schritten erläutert wird.

Zur Veranschaulichung des komplexen, ineinandergreifenden Vorgehens im gesamten Forschungsvorhaben sind in den folgenden Abschnitten tabellenartige Übersichten verwendet.

### 2.6.1 Fragestellung und Methode

Die Forschungsarbeiten setzten auf Annahmen und Vorwissen aus vorhandenen Forschungsergebnissen sowie aus dem Vorprojekt (siehe Martin und Rose 1992) auf. Als ein erster Schritt wurde auf diesem Vorwissen aufbauend ein integrierter Themenkatalog über den Untersuchungsgegenstand "erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen" erarbeitet. Der Themenkatalog diente allen Forschungspartnern als methodische Rahmengrundlage.

(1) Die Explizierung der Vorannahmen und des Vorwissens bildeten Referenzpunkte bei der Operationalisierung des Forschungsthemas in Teilfragen sowie für die methodische Herangehensweise. Wesentliche Forschungsfragen waren:

- Welches sind besondere Leistungen von Facharbeitern in der Fertigung mit konventionellen und computergesteuerten Werkzeugmaschinen?
- Auf welche Merkmale und Komponenten lassen sich die Leistungen von Facharbeitern zurückführen, wodurch werden sie in die Lage versetzt, kritische Arbeitssituationen zu "meistern"? Welcher Stellenwert kommt dabei den Kategorien subjektivierenden Handelns, der sinnlichen Wahrnehmung, dem assoziativen Denken, der emotionalen Involviertheit und dem dialogisch-explorativen Vorgehen zu?
- Welche für eine Vorwegplanung und Vollautomatisierung kritischen Arbeitssituationen lassen sich in der betrieblichen Praxis identifizieren?
- Welches sind für Erfahrungsaufbau, -einsatz und -erhaltung hemmende und welches sind förderliche Bedingungen?
- Welche Anforderungen an technische Unterstützung für erfahrungsgeleiteter Arbeit lassen sich identifizieren? Durch welche technischen Funktionsbausteine läßt sich erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen unterstützen? Wie lassen sich diese in einem Systemkonzept integrieren?

(2) Der Themenkatalog stellte einen integrativen Rahmen für die Forschungsvorhaben der Partner zur Verfügung und betraf die Abschnitte:

- Rahmenbedingungen (organisatorisch, technisch, personell),
- Fertigungstätigkeiten (einzeln differenzierbare Teiltätigkeiten),
- generelle Aspekte im Arbeitshandeln und der Vorgehensweise, Indikatoren zur Wahrnehmung, Orientierung und Bewertung, Zusammenspiel von Kräften in der Zerspanung, Ansatzpunkte für technische Unterstützung,
- spezielle Aspekte wie fördernde und hemmende Bedingungen, für Bildung und Anwendung von Erfahrungswissen, Belastungen aus Ar-

beitsumfeld sowie den Faktor der Wirtschaftlichkeit erfahrungsgeleiteter Arbeit und

- konzeptionelle Schlußfolgerungen.

Im methodischen Ansatz für die empirischen Erhebungen sowie Laborvorhaben war ein gemeinsames Vorgehen der sozialwissenschaftlichen Partner verankert, wie auch ein "Tandem"-System, bei der jeweils ein ingenieurwissenschaftlicher und ein sozial-/arbeitswissenschaftlicher Partner kooperierten.

Bei der Entwicklung für ein Untersuchungsdesign spielte weiterhin eine Rolle, daß es bei Fragestellungen zur geeigneten technischen Unterstützung von Facharbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen um ein Zusammenwirken von Mensch und Maschine geht. Insofern fanden die Analysen im Spannungsfeld produktionsspezifischer Bedingungen statt und betragen Arbeitsinhalte qualifizierter Facharbeit statt. Da die Forschungsfragen in der veranschlagten Tiefe noch nicht untersucht waren - insbesondere nicht mit der Kopplung zur Gestaltung geeigneter technischer Funktionalitäten - war für die Vorgehensweise und auch Erkenntnisgewinnung ein qualitativer Untersuchungsansatz die erforderliche Methode. Dieser Ansatz ermöglichte, den Forschungsprozeß adäquat zu vorliegenden Ergebnissen und Erkenntnissen sukzessive zu entwickeln und aktuelle Ergebnisse einzubeziehen. Das Vorgehen basiert daher auf der Methodologie der qualitativen Sozialforschung (z.B. Flick u.a. 1991, Strauss 1991, Lamnek 1988). Genauere Schwerpunkte in den drei Projekphasen sind im nächsten Abschnitt dargestellt.

### **2.6.2 Schwerpunkte im Forschungsvorhaben und allgemeines Vorgehen**

Schwerpunktthema war zum einen die Realisierung technischer Funktionalitäten für CNC-Werkzeugmaschinen zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit. Zum anderen war die Fundierung und Verbreiterung der konzeptionellen Arbeiten zum empirisch-theoretischen Ansatz erfahrungsgeleiteter Arbeit Forschungsthema, wie er insbesondere im Kapitel 2.3 näher beschrieben ist.

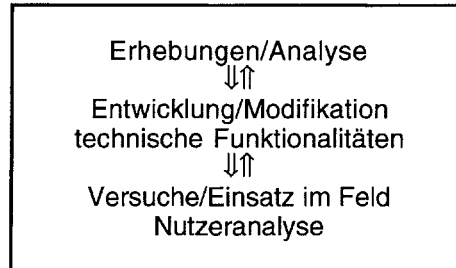
Erkenntnisprozesse und -fortschritte in den inhaltlichen Bereichen "Technische Funktionalitäten", "Technisches Systemkonzept" und "Konzeptuelle Vertiefungen" fanden in wechselseitiger Verschränkung statt. So bildeten die in Phase 1 entwickelten Begriffsklärungen sowie die Anforderungen an Technik zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit Grundlagen für Operationalisierung technischer Komponenten und Systemkonzept. Erprobungen technischer Prototypen in der Praxis wiederum führten auch zur Vertiefung des Konzepts erfahrungsgeleiteter Arbeit. Ein Beispiel ist hier die Erprobung des Rotoclears, bei der die Bedeutung des peripheren Sehens für Facharbeiter an CNC-Werkzeugmaschinen offensichtlich wurde.

	<b>Technische Funktionalitäten</b>	<b>Technisches Systemkonzept</b>	<b>Konzeptuelle Vertiefungen</b>
<b>Phase 1</b>			Begriffsklärung Themenkatalog Anforderungen an Technik Untersuchungsdesign
<b>Phase 2</b>	<p><b>Operationalisierung:</b> Technische Komponenten für Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit</p> <p><b>Entwicklung Prototypen:</b></p> <p>Körperschall; Joystick; kraftrückgekoppelter Override; Override-Protokollierung; verschiebbares Spritzschutzwfenster</p> <p><b>Aufgreifen bestehen der Komponenten:</b></p> <p>Rotoclear; Kühlschmiermittelpositionierung</p> <p><b>Erprobung</b></p>	<p><b>Operationalisierung:</b> Systemkonzept Prozeßführungsmodul Programmerstellung</p> <p>separate Recherche</p> <p>Untersuchung</p> <p>Weiterentwicklung</p>	<p>Vertiefende Analysen, empirische Erhebungen</p> <p>Präzisierung der Konzepte erfahrungsgeleiteter Arbeit</p> <p>Entwicklung Bewertungsraster für Erprobungen</p>
<b>Phase 3</b>	<p>Vertiefende Erprobung</p> <p>Bewertung auf Geeignetheit, erfahrungsgeleitete Arbeit zu unterstützen</p>	<p>Entwicklung des Konzepts "Manuelles Steuern"</p>	<p>Sozial- und arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse; Entwicklung des Konzepts: "Innovation"</p>

**Bild 2.16:** Schwerpunkte im Forschungsvorhabens

### 2.6.3 Ablauforganisation

Die Systematik in der Projektorganisation beruhte auf wiederholt zyklisch zu durchlaufenden Phasen inhaltlicher Arbeit:



**Bild 2.17:** Ablaufzyklus der Projektphasen

In der folgenden Übersicht (Bild 2.18) ist das Vorgehen im Projekt abgebildet.

	Phase 1	Phase 2	Phase 3
<b>Erhebungen im Feld/ Nutzer analyse</b>	Analyse des Arbeitshandelns in Betrieben unter Produktions- bedingungen		
<b>Laborver- suche im CNC-Zentrum</b>	Differenzierte Analyse des Arbeitshandelns bei vorgegebenen Aufgaben	Erprobung der Komponenten durch Facharbeiter und Nutzeranalyse: Körperschall, Luftschall, Overrideprotokol- lierung, Kraftmessung/ Visualisierung, Joystick	

**Bild 2.18 a:** Vorgehen im Projekt (Teil 1)

	Phase 1	Phase 2	Phase 3
<b>Herstellerkomponenten</b>		Kooperation mit Herstellern: Rotoclear, Geräuschschlitz, Spritzschuttscheibe, positionierbares Kühlschmiermittelsystem	
<b>Feldversuche/ Nutzeranalyse</b>			Einsatz der Komponenten im Feld und Nutzeranalyse: Körperschall, Overrideprotokollierung, Rotoclear mit Geräuschschlitz, verschiebbares Spritzschuttfenster, positionierbares Kühlschmiermittelsystem
<b>Konzeptentwicklung</b>	Konzept erfahrungsgeleitete Arbeit; Anforderungen an technische Funktionalitäten	Konzeptionelle Entwicklung: Barrieren an CNC-Werkzeugmaschinen für dialogisch-exploratives Vorgehen, sinnliches Wahrnehmen und Eingreifen	Konzeptentwicklung: "Manuelles Steuern", "Innovation"
<b>Interdisziplinäre Experten- gespräche</b>	Workshops Fachtagungen Arbeitskreise	Workshops Fachtagungen Arbeitskreise	Workshops Fachtagungen Arbeitskreise

Bild 2.18 b: Vorgehen im Projekt (Teil 2)



## 2.6.4 Akteure der Forschung

Die beteiligten Partner im Forschungsvorhaben lassen sich zunächst grob in zwei Gruppen einteilen: Nutzer/Anwender und Entwickler/Forscher. Aufgrund von Überschneidungen, z.B. darin, daß Entwickler auch Anwender, und Nutzer gleichfalls Entwickler sind, war ein interdisziplinärer Diskurs im Themenbereich der erfahrungsgeleiteten Arbeit und Entwicklung geeigneter Technik eröffnet. Dieser Diskurs erlaubte kurze Wege in der Rückkopplung zwischen Forschung und Anwendung, evozierte innovative Beiträge und förderte die Umsetzung und Realisierung in die Praxis. Die Akteure der Forschung sind in folgendem Bild 2.19 dargestellt.

<b>Nutzer/Anwender</b>	<b>Entwickler/Forscher</b>
<b>CNC-Anwenderbetriebe</b>	<b>CNC-Herstellerbetriebe</b>
ca. 30 Groß-, Mittel-, Kleinunternehmen ca. 200 Facharbeiter/Werkstattpersonal ca. 65 Technische Führungskräfte	Gildemeister GmbH, Bielefeld Dr. J. Heidenhain GmbH, Traunreut MAHO AG, Pfronten Philips Export B.V., Eindhoven Siemens AG, Erlangen
<b>CNC-Zentrum/Qualifizierung</b>	<b>Forscher</b>
Facharbeiter in Weiterbildungsmaßnahmen aus 8 Unternehmen Ausbilder	7 Ingenieurwissenschaftliche Institute 1 Arbeitswissenschaftliches Institut 1 Sozialwissenschaftliches Institut 1 Arbeitspsychologisches Institut 1 Wirtschaftswissenschaftliches Institut

**Bild 2.19:** Akteure der Forschung

Entscheidungen für die Realisierung technischer Funktionalitäten sowie die konzeptuellen Ergebnisse und Befunde resultieren aus umfangreichen empirischen Erhebungen und Auswertungen. Über die Fundierung der Analysen am Arbeitshandeln von Facharbeitern gibt nachstehendes Bild 2.20 überblicksartigen Aufschluß.

Die Daten beruhen auf Analysen aus Felderhebungen aus ca. 200 Intensivinterviews in etwa 30 Klein-, Mittel- und Großunternehmen, ergänzt durch eine Vielzahl von Gesprächen mit Werkstatt- und Führungspersonal in weiteren 20 Fertigungsbetrieben. In der Bild 2.20 sind die Zahlen der durchgeführten Intensivinterviews aufgeführt nach einer Differenzierung

der Interviewpartner nach Novize/Erfahrener und dem Grad der Arbeitsteilung.

Arbeitsteilung/ Erfahrungsgrad	Hoher Grad der Arbeitsteilung	Geringer Grad der Arbeitsteilung	
		Selbstprogram- mierung an CNC- Werkzeugma- schinen;  Einrichtung und Kontrolle durch Facharbeiter	Arbeit mit kon- ventionellen Werkzeug- maschinen
<b>Erfahrene Arbeitskräfte</b> (i. S. von langer Berufserfahrung und souveränem Arbeitshandeln auch in kritischen Arbeitssituationen)	Anzahl Arbeitskräfte  68	Anzahl Arbeitskräfte  52	Anzahl Arbeitskräfte  20
<b>Weniger erfahrene Arbeitskräfte</b> (i.S. von kurzer Berufserfahrung und weniger souveränem Arbeitshandeln)	Anzahl Arbeitskräfte  25	Anzahl Arbeitskräfte  17	Anzahl Arbeitskräfte  8
<b>Mitarbeiter aus vor und nachgelagerten Abteilungen/ Technische Führungskräfte/Meister</b>	Anzahl Mitarbeiter  25	Anzahl Mitarbeiter  40	

**Bild 2.20:** Basis der empirischen Erhebungen

Um zu Aussagen über Arbeitssituationen zu kommen, die Grenzen einer Planung im voraus aufzeigen, einer Automatisierung entgegenstehen und bei deren Bewältigung Erfahrung der Arbeitskräfte eine besondere Rolle spielt, ist die Organisationsform nach hohem und geringem Grad der Arbeitsteilung unterschieden. Dieser Unterscheidung liegt die Annahme zugrunde, daß aufgrund von auftretenden Problemen - häufig als "Reibungsverluste" bezeichnet - infolge einer hohen Arbeitsteilung zwischen planenden, ausführenden und auswertenden Tätigkeitsanteilen, auf Grenzen der Planung und damit einer Automatisierung rückgeschlossen werden kann.

Die Betriebe wurden also auf der Grundlage ihrer Fertigungsorganisation ausgewählt, d.h., es wurden Klein-, Mittel- und Großbetriebe in die Untersuchung einbezogen und differenziert nach Unternehmen, die einen relativ hohen respektive einen relativ geringen Grad von Arbeitsteilung haben. Unter einem hohen Grad der Arbeitsteilung wird dabei folgende Fertigungsorganisation verstanden:

- externe NC-Programmierung, zusätzlich
- eine externe Werkzeugvoreinstellung sowie Einrichter und
- externe Werkstückkontrolle.

Tätigkeitsinhalte von Facharbeitern bestehen hier u.a. im Festlegen von Nullpunkten, Eingaben von Werkzeugkorrekturen sowie im Einfahren und Überwachen.

Unter einem geringen Grad der Arbeitsteilung und damit einem relativ ganzheitlichen Tätigkeitszuschnitt und Durchführung von planenden, ausführenden und auswertenden Tätigkeitsanteilen am Arbeitsplatz wurde folgende Fertigungsorganisation verstanden:

- Programmerstellung von Facharbeitern an der CNC-Werkzeugmaschine oder am maschinennahen Programmierplatz,
- Einrichten der Maschine und Bestücken sowie
- (Teil-)Kontrolle auf Qualität und Paßgenauigkeit der Werkstücke durch die Fachkräfte selbst.

Weiterhin wurden Fachkräfte mit unterschiedlichem Erfahrungshintergrund in die Felderhebungen einbezogen. Eine Orientierung am formalen Qualifikationsstand, also z.B. gelernter Dreher, schien nicht ausreichend zu sein, da ein angelernter Arbeiter infolge einer langen Berufserfahrung durchaus einen Facharbeiterstatus erwerben kann. Ebenso kann ein gerade ausgebildeter Facharbeiter an einer ihm neuen Maschine einen "Anfängerstatus" haben. Daher sind "erfahrene Arbeitskräfte" Mitarbeiter mit einer Berufserfahrung von mindestens 5 Jahren, die schwierige Bearbeitungssituationen souverän meistern. "Weniger erfahrene Arbeitskräfte" sind Mitarbeiter mit weniger als einem Jahr Berufserfahrung nach Abschluß der Ausbildung bzw. angelernte Fachfremde mit ebenfalls weniger als einem Jahr Berufserfahrung mit wenig souveräner Bewältigung von schwierigen Arbeitssituationen. Aufgrund bereits vorliegender Befunde war davon auszugehen, daß in der Zerspanung weniger erfahrene Facharbeiter eher von unplanbaren Ereignissen "überrascht" werden als Erfahrene, und daß dies in der Beobachtung des Arbeitshandelns auch deutlich wird.

Erfahrene Facharbeiter dagegen bemerken einen Großteil von Entscheidungsvorgängen und Prozeßführungsmaßnahmen nicht mehr als etwas Außergewöhnliches. Daher stellt sich für den Beobachter ihr Arbeitshandeln zunächst als eine fließende, kontinuierliche Abfolge ohne besondere Ereignisse dar. Die Einbeziehung unterschiedlicher Erfahrungsgrade macht verschiedene Charakteristika der Art Weise der Bewältigung von unplanbaren Ereignissen in der Zerspanung im Vergleich zwischen erfahrenen und weniger erfahrenen Arbeitskräften deutlich. Die Variationen im Grad der Arbeitsteilung und im Grad der Erfahrung ermöglichte unter anderem die Entwicklung der Systematik kritischer Arbeitssituationen, wie sie in Kapitel 2.2 beschrieben ist.

Die Einbeziehung von Fachkräften an konventionellen Werkzeugmaschinen war von Bedeutung, weil hier noch relativ weitgehend ein eng miteinander verflochtenes Handeln in Planen - Ausführen - Auswerten ohne die bei der CNC-Werkzeugmaschine vorhandenen Barrieren durch Verkapselung usw. möglich ist und Facharbeiter grundlegende Erfahrungen, wie z.B. ein "Materialgefühl" für die Zerspanung an der konventionellen Werkzeugmaschine gewinnen.

### **2.6.5 Allgemeine Prinzipien und methodische Instrumente**

Die methodische Vorgehensweise enthält zum einen methodische Grundsätze, zum anderen die eingesetzten Instrumente.

#### **(1) Grundsätze im methodischen Vorgehen**

Das Untersuchungsdesign der empirischen Erhebungen wie auch für die technischen Funktionalitäten basiert auf einem kontrastiven Vorgehen auf unterschiedlichen Ebenen:

- Variation im Erfahrungsgrad befragter Facharbeiter,
- Variation durch Einbeziehung "Spitzenkräfte"/"Durchschnittskräfte",
- Variation in der Perspektive auf Arbeitshandeln durch Einbeziehen weiterer Mitarbeiter aus angrenzenden Fertigungsbereichen,
- Variation in der Arbeitsorganisation beteiligter Unternehmen,
- Tandemprinzip bei Untersuchung durch Ingenieur-, Sozial- und Arbeitswissenschaft sowie
- Expertendiskussion bei Anwendern.

Grundlegend für das methodische Vorgehen waren die Nutzerbeteiligung bei Untersuchungen und Entwicklungen sowie die "Feld- und Praxisbezogenheit". Das meint einerseits Analysen von Arbeitshandeln im Alltag und Einbeziehung empirischer Befunde, andererseits die Rückkopplung der technischen Funktionalitäten in die betriebliche Anwendung vor Ort. In den Institutsversuchen wurden erste Tests von Facharbeitern durchgeführt, die dann in Laborversuchen im CNC-Zentrum vertieft wurden. Allerdings läßt sich für weitere Innovationen erst anknüpfen, wenn Funktionalitäten sich auch im betrieblichen Alltag als Unterstützung gezeigt haben,

wie es sich für die Komponenten sagen läßt, die in Langzeitversuchen in Betrieben eingesetzt wurden (siehe Kapitel 5).

Bei der Nutzerbeteiligung für die Entwicklung von technischen Funktionalitäten ist die methodische Herangehensweise von "provokativen Technikvorschlägen" entwickelt worden. Diese Technik basiert auf einem kontrastiven Angebot technischer Prototypversionen an die Nutzer und fördert ein fertigungsbezogenes Abwägen von Vor- und Nachteilen für die einzelnen Versionen. Aufgrund der Komplexität von Technikgestaltung - bereits für Ingenieure und Entwickler - war für die Einbeziehung von Nutzern eine kreative Herangehensweise gefordert, da Nutzer und Anwender in erster Linie Fachleute für Zerspanung sind und es geeigneter Methoden bedarf, um innovative Beiträge zu fördern.

Für das gesamte Forschungsvorhaben war insbesondere die entstehende kommunikative Dynamik für die Fundierung der Beiträge aus unterschiedlichen Perspektiven von Nutzen, wie sie aufgrund zahlreicher interdisziplinärer Teilkoperationen gegeben war.

Weiterer Grundsatz im Vorgehen lag in Expertendiskussionen bei Anwendern und Herstellern. Während der Projektlaufzeit fand kontinuierlich Austausch und Diskussion zu den Themenschwerpunkten Bedarfsabschätzung aus der Praxis, Nutzererwartungen, zum Selbstverständnis von Entwicklern und zu Sichtweisen auf Ergebnisse statt.

Besondere Anforderungen an Anwender wie Entwickler ergaben sich aufgrund der weitreichenden Rezession in der Maschinenbaubranche und darüber hinaus in vielen Produktionsbereichen während der Projektlaufzeit. Zum einen standen vielfältige Probleme an, zum anderen war notwendig, durch innovative Beiträge zukünftige Chancen zu sichern.

## **(2) Methodische Instrumente**

Im ersten Schritt fand in mehreren Betrieben sogenannte teilnehmende Beobachtung statt. Hierbei ging es im wesentlichen darum, ein fundiertes Verständnis über die kontextabhängige Tätigkeit von Facharbeitern im jeweiligen Unternehmen zu erhalten; welche Werkstückspezifika vorliegen, Besonderheiten und Alltäglichkeiten in Tagesabläufen und Schichten bestehen, welche außergewöhnlichen und alltäglichen Ereignisse von Facharbeitern bewältigt werden, welche hemmend und förderlichen Bedingungen liegen vor usw. Die teilnehmende Beobachtung ermöglichte es in diesem Zusammenhang, fundiert Kenntnis des betrieblichen Geschehens zu erhalten und viele Details aus dem "Feld" zusammenzutragen.

Auf dieser Grundlage fanden Intensivinterviews in Form von offenen Interviews mit ausgewählten Themenschwerpunkten statt, die schriftlich erfaßt und ausgewertet wurden. Zentralen Stellenwert hatten dabei "Situationen", also Arbeitssituationen, in denen sich die Bedeutung einzelner Bedingungen (Maschinenzustand, Werkzeug, Zeichnung usw.) für das Arbeitshandeln einer Person konkret zeigt. Erkannt wurde zum Beispiel die Bedeutung akustischer, visueller und taktil-kinästhetischer Indikatoren, die es den Fachkräften erlauben, begründet auf nicht unmittelbar wahrnehmbare Sachverhalte zu schließen.

Gruppengespräche von Facharbeitern bildeten gleichfalls eine Datenbasis. In der Gruppensituation konnte das gemeinsame Zusammentragen und Gewichten einzelner Details in der Tätigkeit vorgenommen werden. Als ein wesentliches Ergebnis ist hier der Erfahrungszyklus in der Zerspannung entstanden.

Die Gruppendiskussionen wurde methodisch in Anlehnung an die "Heidelberger Struktur-Lege-Technik" (SLT, nach Groeben 1984) durchgeführt. Die SLT ist konzipiert für Anwendungen, in der das subjektive Motivations- und Überzeugungssystem eines Handelnden vergleichsweise hohe Grade von Komplexität erreicht hat. Sie stellt eine Möglichkeit dar, die strukturierten und vernetzten Aspekte des individuellen Kognitionssystems zu rekonstruieren. Die methodische Vorgehensweise der SLT hat sich als qualitatives Instrument bewährt, wenngleich es ein relativ aufwendiges Verfahren darstellt.

Für empirische Erhebungen sind Aufzeichnungen auf Video und Auswertung genutzt worden. Beispielhaft sind dafür der sich ergänzende Einsatz von Videoaufzeichnung und die Methoden des "Lauten Denkens" (LD) und des "Nachträgliches Lauten Denkens" (NLD) genannt. Videoaufzeichnungen (in Anlehnung an Wahl 1979) eignen sich als Rekonstruktionsmöglichkeit aktueller Gedanken, aber auch psychischer Befindlichkeiten sowie zur Identifizierung von Handlungsklassen; beide Kategorien sind für eine systematische Klassifizierung von Arbeitshandeln von Bedeutung. In Übertragung der Methode des LD (Deffner 1983) auf die Laborsituation wurden Verbalisationen der Facharbeiter während des Handelns per Kopfmikrofon und Kassettenrekorder aufgezeichnet. Die Auswertung dieser Protokolle lieferte weiterführende Vertiefungen bezüglich des Vorgehens in aktuellen, konkreten Situationen. Die Methode des NLD ist wie auch die des LD ein Ansatz, die "innere Wirklichkeit einzufangen". Hiermit können gleichfalls für eine Aktualisierung vergangener Situationen nicht-beobachtbare mentale und emotionale Prozesse erfaßt werden, welche von den befragten Personen beim Abspielen des Videofilms aktuell zur entsprechenden Situation wieder erinnert werden könne.

Als weitere Instrumente sind Laboruntersuchungen im CNC-Zentrum Hamburg zu nennen sowie Feldversuche mit technischen Funktionalitäten. Nachfolgend eine überblickartige Darstellung der Feldversuche: aufgrund der Bedeutung und Besonderheit der Laboruntersuchungen im CNC-Zentrum folgt anschließend eine ausführliche Darstellung der Laboruntersuchungen.

Neben den Feldversuchen waren sogenannte Laborvorhaben in der Forschungsarbeit konzipiert. Unter definierten Untersuchungs- und Arbeitsbedingungen haben zum einen die einzelnen technischen Institute die von ihnen entwickelten technischen Komponenten in Labortests erprobt. Hier standen in erster Linie technisch orientierte Funktionalitäten im Mittelpunkt (Funktionsprinzip und -sicherheit, Handhabung usw.). In Form von Laborversuchen im CNC-Zentrum Hamburg wurde der Schwerpunkt der Untersuchungen auf das Arbeitshandeln von Facharbeitern an CNC-Maschinen gelegt. Diese Laborversuche waren in die methodische Vorgehensweise aufgenommen worden, um außerhalb von alltäglichen Fertigungsbedingungen Details im Arbeitshandeln thematisieren zu können.



Das CNC-Zentrum Hamburg bietet für solche Versuche ein praxis- und betriebsorientiertes Spektrum von verschiedenen CNC-Produktionsmaschinen mit unterschiedlichen Steuerungen. Unter herstellerübergreifenden Aspekten konnten so verschiedene Variationen an technischer Ausstattung zugrunde gelegt werden. Darüber hinaus liegen im CNC-Zentrum Hamburg umfangreiche Erfahrungen in dem Umgang mit CNC-Maschine sowie in der Qualifizierung von Fachkräften in diesem Bereich vor.

<b>Funktionalitäten</b>	<b>Beteiligte Akteure</b>
Körperschall Drehen	Fa. Seifert, Ahrensburg; FhG-ISI, Karlsruhe, PTW Darmstadt, Universität Hamburg, ABU
Körperschall Fräsen	Fa. Siemens, Erlangen; Fa. BMW München; FhG-IPK Berlin; FhG-ISI, Karlsruhe; ISF-München; Universität Hamburg, ABU
Overrideprotokollierung	Fa. Siemens, Erlangen; GhK-IfA Kassel; TU-IWF Berlin
Rotoclear/Geräuscheschlitz	Fa. Will, Hamburg; Fa. Autz & Herrmann, Heidelberg; FhG-IPK Berlin; Universität Hamburg, ABU
Verschiebbares Spritzschutzwfenster	Fa. BMW, München; FhG-IPK Berlin
Positionierbares Kühlschmiermittel	Fa. BMW, München; Fa. Augenstein, Keltern-Ellmendingen; FhG-IPK Berlin

**Bild 2.21:** Plan der Laboruntersuchungen der technischen Funktionalitäten

Im folgenden werden Aufgabeninhalt und Organisation der o.g. Laborversuche insoweit dargestellt, wie es für die Erläuterung ihrer Funktion als methodisches Instrument im CeA-Vorhaben von Bedeutung ist. Eine weitergehende Einordnung der Laborversuche, wie sie als Teil von Lern- und Arbeitsprozessen konzipiert waren, ist in dem Beitrag "CNC-Qualifizierung und Laborversuche als Einheit" von Golinski enthalten.

Grundsätzlich werden drei aufeinander aufbauende Phasen von Laborversuchen unterschieden. Das Arbeitshandeln von Facharbeitern an CNC-Maschinen sollte untersucht werden:

- Phase 1: In der Vorgehensweise bei der Zerspanung mit herkömmlichen, verbreiteten CNC-Maschinen.
- Phase 2. An CNC-Maschinen, die mit ersten Versionen der neu entwickelten technischen Komponenten des CeA-Verbundes bestückt sind für eine erste Überprüfung der Eignung für beispielsweise die Unterstützung von Prozeßtransparenz oder zusätzlichen Eingriffsmöglichkeiten.
- Phase 3. An CNC-Maschinen, die mit modifizierten und weiterentwickelten Komponenten auf höherer Integrationsstufe ausgerüstet sind.

Aus technischen und organisatorischen Gründen, die mit der Transferierbarkeit komplexer Entwicklungen in das CNC-Zentrum zusammen hingen, wurde die Phase drei im Rahmen von Labortests der technischen Institute realisiert. Letztere wurden dazu unter Beteiligung von Facharbeitern und in Begleitung von Arbeitswissenschaftlern durchgeführt.

Gleiches gilt in Phase zwei für die Komponenten, die umfangreiche Adaptionen in den Steuerungen erforderlich machen (Joystick, Handrad, Overrideprotokollierung). Für die beteiligten Industriepartner wurden darüberhinaus in Form einer Laborvorführung alle technischen Komponenten als Einzellösungen präsentiert. Bei der Abschlußpräsentation der CeA-Komponenten im CNC-Zentrum Hamburg konnten als Laborvorführung ebenfalls die Integrationen der Phase 3 realisiert werden.

### **(1) Der Ablauf der Laborversuchsarbeit**

Von der ersten Planung bis zur Gesamtbewertung gliedert sich der Ablauf der Laborversuche in fünf Hauptschritte.

#### **Die allgemeine Planung der Laborversuche**

Insbesondere die Anlage der Versuche sowohl inhaltlicher Art hinsichtlich Arbeitsaufgaben, technischen Zeichnungen, Fertigungsvorgaben, Interdisziplinarität der Teams usw. als auch organisatorischer Art, z.B. rollieren-de Arbeit an CNC-Maschinen, wurde vorab langfristig auf Planungsgruppenebene erarbeitet. Die Planungsgruppe war ebenfalls interdisziplinär besetzt. Alle Laborversuche wurden auf die Dauer von zwei Tagen angelegt.

#### **Die konkrete Vorbereitung der Laborversuche**

Die an dem jeweiligen Versuch beteiligten Wissenschaftler haben in der Regel am Vortag die organisatorischen und technischen Gegebenheiten

besprochen und für die Untersuchungen berücksichtigt. Gegebenenfalls wurden auch bereits die einzusetzenden Komponenten erprobt.

### **Bildung der Arbeitsteams**

Gemeinsam mit den jeweiligen Facharbeitern wurden am Vorabend die Arbeitsteams gebildet. Unter Berücksichtigung der Interdisziplinarität sowie maschinenspezifischer Zuordnungen (z.B. bei der Untersuchung von CeA-Komponenten) konnten sich zunächst die Beteiligten eines Teams miteinander bekannt machen. Dieses wurde unter anderem durch die kleinen Teams von zumeist drei Personen unterstützt. In diesem Zusammenhang bestand für die Wissenschaftler die Möglichkeit, das Anliegen des CeA-Vorhabens individuell orientiert zu erläutern.

### **Die Laborversuche**

Für die Laborarbeit wurden Arbeitsteams bestehend aus einzelnen Facharbeitern und Wissenschaftlern gebildet. Die jeweilige Gruppe der Wissenschaftler war stets interdisziplinär, also mit Technikern und Arbeitswissenschaftlern, besetzt. In den Arbeitsteams wurde die Bearbeitung der gestellten Laboraufgabe mit einer CNC-Maschine durch den Facharbeiter per Video/Audio aufgezeichnet und zusätzlich protokolliert (Methode der teilnehmenden Beobachtung). Diese Aufzeichnungen waren die Grundlage für das anschließende Auswertungsgespräch im Arbeitsteam über die Tätigkeiten (Methode des Intensivinterviews). Abgeschlossen wurde jede Laboruntersuchung mit einer Gruppendiskussion unter allen Arbeitsteams (Methoden der Struktur-Lege-Technik und der Diskussion).

Die einzelnen Arbeitsteams haben ihre Laborarbeit weitestgehend selbst organisiert. Bei zwei Teams pro Maschine konnte das erste an der Maschine arbeiten und das zweite ein orientierendes Interview mit dem Facharbeiter über seine Fertigungserfahrungen führen. Während darauf das erste Team seine Arbeit mit der Maschine auswertete, konnte parallel dazu das zweite mit seiner Maschinenarbeit beginnen. Diese Form des Parallelarbeitens zog sich durch alle Laborversuche.

### **Auswertung**

Die Arbeitsteams werteten kooperativ die angefertigten Gesprächsmitchnitte, Videoaufzeichnungen, Gruppendiskussionen und Daten aus den teilnehmenden Beobachtungen aus und fertigten jeweils Ergebnisprotokolle an, die allen Forschungspartnern zur Verfügung gestellt wurden. Auf diese Weise wurde sichergestellt, daß Ergebnisse aus den Laborversuchen in die Weiterentwicklung der technischen Prototypen aber auch in Vertiefungen des konzeptuellen Ansatzes einfließen.

### **(2) Teilnehmerakquirierung**

In die vertiefenen Laboruntersuchungen wurden ausschließlich Fachkräfte der Zerspanung einbezogen. Dazu zählten neben einschlägig ausgebildeten Facharbeitern auch solche angelernten betrieblichen Mitarbeiter, die aufgrund langjähriger Tätigkeit über umfangreiche Erfahrungen im Metallbereich (Zerspanung) verfügten. Die Fachkräfte mit den notwendigen Voraussetzungen für die Laborversuche sollten über folgende Qualifikationen verfügen:

- konventionelle Zerspanungskennnisse und entsprechende betriebliche Erfahrungen,
- CNC-Kennnisse,
- betriebliche Erfahrung im Umgang mit CNC-Maschinen (Bedienung, Programmierung),
- möglichst Kennnisse und Erfahrungen mit den Maschinen und Systemen, die im CNC-Zentrum Hamburg zur Verfügung standen.

Zur Herstellung der notwendigen Vertrautheit mit der Fertigungssituation sowie den Maschinen und ihrem Umfeld im CNC-Zentrum wurde den jeweils zwei Labortagen eine dreitägige Aufbauqualifizierung vorgeschaltet. In der Regel lag diese Aufbauqualifizierung im Themenbereich Variablen- und Parameterprogrammierung und dem entsprechenden Umgang mit CNC-Maschinen. Neben der Konzentrationsfähigkeit für die anschließenden CeA-Aufgaben bzw. -komponenten konnten dadurch zwei Nebenefekte erzielt werden:

- Für betriebliche Facharbeiter mit oben genannten Voraussetzungen konnte nur durch eine hohe Motivation ihrer jeweiligen Betriebsverantwortlichen für die Laborarbeit eine Freistellung erreicht werden. Dabei stellte sich heraus, daß das geplante Angebot, Lohnausfall zu ersetzen, die Betriebe in der Regel nicht interessiert hat. Vielmehr konnten sie über das Angebot einer zusätzlichen und kostenfreien Aufbauqualifizierung ihrer Mitarbeiter für eine Kooperation mit dem CeA-Verbund gewonnen werden.
- Die Betriebe konnten mit einer einwöchigen Abwesenheit ihrer Mitarbeiter kalkulieren. Dieser Zeitraum entsprach deren Erfahrungen mit anderen externen Lehrgängen zum Beispiel auch im CNC-Zentrum und war entsprechend akzeptiert.

### **(3) Die Arbeitsaufgaben im Labor**

Die Arbeitsaufgaben für die Facharbeiter mußten für die Eignung im Rahmen der CeA-Laborversuche folgende Kriterien erfüllen:

1. Darstellung praxisgerechter Fertigungsfälle mit alltagstypischen Detailproblemen.
2. Berücksichtigung verbreiteter betrieblicher Arbeits- und Organisationsformen (wie der zentralen und dezentralen NC-Programmierung).
3. Orientierung auf die aktuellen Qualifikationen der Facharbeiter.
4. Spezielle Fertigungsanforderungen für den Einsatz von CeA-Komponenten.

In der Regel wurden für jeden Facharbeiter entsprechend zwei unterschiedliche Arbeitsaufgaben entwickelt. Zum einen ging es um die Fertigung eines Werkstückes nach vorgegebenem NC-Programm und den dazugehörigen Fertigungsunterlagen (Einrichteblatt, Zeichnung, Werkzeugdaten, Programmausdruck, DNC-Dateiname). Aufgabe war das Einfahren dieses unbekannten Teileprogramms sowie die Fertigung eines Werkstückes mit selbstbestimmten Optimierungen in beliebigen Bereichen und deren Kontrolle (Aufgabe V). Zum anderen war nach Vorgabe

einer Teilezeichnung neben dem Erstellen des Einrichteblattes und des NC-Programms die CNC-Maschine einzurichten, das Programm zu testen (grafisch, Einzelsatz, Overrideschalter) sowie das Werkstück zu fertigen und zu kontrollieren (Aufgabe E). In den Laborsituationen war es möglich, bestimmte Ausgangsbedingungen zu variieren, so wurden z.B. leicht und schwer zerspanbare Materialien, neue und abgenutzte Werkzeuge, Vorgabe zu niedriger und zu hoher Schnittwerte usw. verwendet. Anhand der vorgegebenen Aufgabentypen und der Variation von Ausgangsbedingungen wurde eine vertiefende Analyse des Arbeitsvorgehens bei der Bewältigung typischer betrieblicher Arbeitssituationen möglich. Solche Situationen bestehen hier im dem Einfahren, Optimieren und Überwachen von in externen Programmierabteilungen erstellten NC-Programmen sowie in Vornahme von Werkstattprogrammierung.

### 2.6.6 CNC-Qualifizierung und Laborversuche als Einheit

Mit den Laborversuchen des CeA-Vorhabens als eines der empirischen Instrumente waren zweierlei Absichten verbunden. Zum einen ging es darum, zur Unterstützung der grundlegenden Forschungsaktivitäten des CeA-Verbundes außerhalb von alltäglichen Situationen das Arbeitshandeln von Fachkräften an Standard-CNC Maschinen gegenwärtig hohen Verbreitungsgrades zu untersuchen. Zum anderen sollten in weiteren Schritten neu entwickelte technische Komponenten in ersten Versionen an diesen Maschinen eingesetzt werden, um deren Eignung unter CeA-Gesichtspunkten zu überprüfen, z.B. resultierende Effekte auf Prozeßtransparenz und Eingriffsmöglichkeiten, und um das Arbeitshandeln in entsprechend neuen Situationen untersuchen zu können.

Die Anforderungen bei der Gestaltung der Qualifizierungs- und Laborarbeit bestanden darin, zum einen definierte Rahmenbedingungen und zum anderen Praxisorientierung zu integrieren. Dies bezog sich für die definierten Rahmenbedingungen in erster Linie auf:

- die gezielte Auswahl und Bereitstellung technischer Systeme wie CNC-Maschinen mit ihrem Umfeld und technische Komponenten,
- Aufgabenformulierungen hinsichtlich Werkstückkomplexität und -design, Fertigungsunterlagen und Arbeitsorganisation auf Grundlage der arbeitspsychologischen Untersuchungskonzeption,
- die Schaffung organisatorischer Bedingungen sowohl für die Arbeit an den Systemen als auch für die Beobachtung und Auswertung der Fachkräftetätigkeiten.

Gleichzeitig sollten die Laborversuche in Inhalt und Anlage an der betrieblich üblichen Alltagspraxis orientiert sein und kein kontrolliertes Experiment im klassischen Sinn darstellen. Das bedeutete:

- die Konzeptionierung eines Werkstückes, das in seinen Bearbeitungsschritten Praxisrelevanz aufzeigt. Hierzu gehören insbesondere die Bereiche Werkstoffe, notwendige Werkzeuge, Werkstückgeometrien, Toleranzen sowie Oberflächengüten,

- Arbeitssituationen zu schaffen, die mit wesentlichen Merkmalen im Betriebsalltag wiederzufinden sind, wie die Werkstattprogrammierung und die externe Programmierung,
- ausschließlich Systeme auf Produktionsstandard, insbesondere bei den CNC-Maschinen, einzusetzen.

Darüber hinaus mußten klassische Vorbedingungen berücksichtigt werden, die mit der neuen Situation außerhalb des gewohnten Fertigungs- und Handlungsalltages zusammenhängen. Hierbei spielte die ausgeprägte Vielfalt der betrieblich eingesetzten CNC-Maschinen und Steuerungen eine wichtige Rolle. Wenn auch den Fachkräften die prinzipielle Arbeitsweise mit CNC-Maschinen bekannt ist, so liegt in der Regel eine Spezialisierung auf die Ausstattung des betrieblichen Arbeitsplatzes vor. Dies bezieht sich vor allem auf die Organisation und die Ausstattung des Betriebs. Um hier von vornherein mögliche Unsicherheiten seitens der Fachkräfte zu vermeiden, kamen für die Arbeit im Labor nur solche Systeme in Frage, die aus dem Arbeitsalltag bekannt waren. Entsprechend zielgerichtet mußten die Teilnehmer akquiriert werden.

Die durchgeführten Laborversuche wurden im CNC-Zentrum Hamburg als Versuchswoche gestaltet. Ausgehend von dem Leitgedanken der ganzheitlichen Tätigkeit wurde für Fachkräfte des zerspanenden Bereichs eine Integration von Qualifizierungs- und Laborteil (drei Tage Qualifizierung, zwei Tage Labor) konzipiert. Diese Herangehensweise hatte nachstehenden Hintergrund:

- Zum einen konnte eine Gewöhnung der Facharbeiter im Sinne von Vertrautmachen initiiert werden, die sich auf das spezifische Fertigungsumfeld, die CNC-Systeme sowie den Tagesablauf des Laborteils bezog. Die Fachkräfte konnten über den fachlichen Qualifizierungsanteil geworben und für den Laborteil motiviert werden.
- Weiterhin konnten durch das Angebot alltagsverwendbarer Qualifizierungsinhalte die entsprechenden Betriebsverantwortlichen motiviert werden, Fachkräfte aus ihrem Produktionsprozeß heraus in externe Laboraktivitäten freizustellen (siehe hierzu auch die Beschreibung der Laborversuche als Untersuchungsmethode).
- Und schließlich liegen im CNC-Zentrum Hamburg umfangreiche Erfahrungen mit der praxisgerechten Gestaltung und Durchführung von verwendungsorientierten Lernprozessen vor, die betrieblicherseits akzeptiert waren und bei den teilnehmerentsendenden Betrieben eine hohe Akzeptanz der Forschungsaktivitäten erwarten ließen.

Bereits der Qualifizierungsteil dieser Woche sollte vorhandenes Erfahrungswissen aus dem Bereich konventioneller Werkzeugmaschinen berücksichtigen und neues, beispielsweise über Prozeßäußerungen an CNC-Maschinen, initiieren helfen. Dementsprechend wurde dieser Teil orientiert an didaktischen Leitlinien gestaltet, wie sie der Arbeit im CNC-Zentrum Hamburg zugrundeliegen, indem er

- ganzheitlich angelegt war, also Theorie und Praxis von CNC-Facharbeit verknüpfte und die vollständige Facharbeitertätigkeit mit den Momenten Informieren, Planen, Durchführen, Kontrollieren und Bewerten abbil-



dete. Dies bedeutete, daß neben der Programmerstellung insbesondere die maschinenorientierten Tätigkeiten wie Einrichten, Einfahren, Optimieren, Überwachen und Prüfen in den Vordergrund rückten;

- die spätere Verwendungssituation der Teilnehmer berücksichtigte, also Kenntnisse und Fertigkeiten sowohl vom Inhalt als auch von der Methodik her so vermittelte, daß sie auch kurzfristig und individuell problemlösend im Betrieb nutzbar waren;
- herstellerunabhängig angelegt war, also neben den verwendungsnotwendigen auch übergreifende, an allgemeinen Prinzipien orientierte Kenntnisse und Fertigkeiten vermittelte und damit Grundlage für sog. Transferwissen bildete;
- den Werkzeugcharakter von CNC-Maschinen herausstellte, also die Verwendungsvielfalt beispielsweise bei der Programmerstellung (Editor, Teach-In) oder dem Handbetrieb verdeutlichte und praktisch umsetzte;
- praxisorientiert war, also von dem Umgang des einzelnen Teilnehmers mit realen Produktionsmaschinen und EDV-Systemen am Beispiel realorientierter Werkstücke geprägt war.

Nachfolgend wird eine der Versuchswochen aus dem Bereich des CNC-FräSENS insbesondere in dem Bezug von Qualifizierungsteil und Laborteil veranschaulicht. Der Lehrgang war ausgerichtet auf Facharbeiter sowohl mit konventionellen als auch mit CNC-Vorkenntnissen und -Vorerfahrungen. Der Lehrgangsinhalt der Parameterprogrammierung war entsprechend aufgearbeitet. Im Mittelpunkt stand dabei das Verwenden von Parametern als variable Werte, um einen oder mehrere Zahlenwerte innerhalb eines NC-Programms offenzuhalten. Dadurch ließ sich ein und dasselbe Programm für unterschiedliche Maße z.B. eines Konturabschnittes anwenden. Ständig wiederkehrende Konturformen wie Taschen, Sechskante, Nocken oder andere Formen wurden nicht mehr über fixe Zahlenwerte, sondern über diese Platzhalter definiert und konnten damit in beliebigen Abmessungen sowie an beliebigen Stellen eines Programms eingesetzt werden. Im einzelnen ging es um

- die Programmierlogik in der Anwendung von Parametern,
- verschiedenen Möglichkeiten der Parameterdefinition und -eingabe,
- die rechnerische und logische Verknüpfung,
- Definition von Technologiedaten und Werkstückmaßen,
- Unterprogrammtechnik, Programmteilerholung in Verbindung mit Parametern, Geometrieberechnung mit Hilfe von Parametern.

Für erfahrene Fachkräfte des CNC-Bereiches bildet diese Form der Programmerstellung die Möglichkeit, sich ein Grundgerüst an Programmen oder Programmteilen zu erstellen, das im wiederkehrenden Anwendungsfall die eigentliche Codierarbeit im Rahmen der Programmierung auf ein Minimum reduzieren hilft. Dies ist insbesondere von Vorteil, wo gegenwärtig die Codierung nach DIN 66025 vorherrscht und einen nicht unerheblichen Zeitanteil der Programmerstellung benötigt. Entsprechend ist bei sinnvoller Verwendung parametrisierter Programme eine verstärkte Orientierung auf Fragen der Bearbeitungsreihenfolge, die Werkzeug- und Technologieauswahl sowie maschinenseitige Schwierigkeiten möglich

und sind im betrieblichen Fertigungsalltag effektivitätssteigernde Effekte zu erzielen.

Insofern können die Parameterprogrammierung und die Verwendung entsprechender NC-Programme als Hilfsmittel der Facharbeiter in der DIN-Zeit angesehen werden, solche Vereinfachungen herbeizuführen, wie sie grafisch-interaktiv angelegte Steuerungen in benutzerfreundlicherer Weise bereitstellen.

Verwendet wurden neben drei CNC-Produktionsfräsmaschinen unterschiedlicher Hersteller mit verschiedenen Steuerungen, deren Einbindung in ein komplexes DNC-Netzwerk sowie unterschiedliche technische Lösungen zur Werkzeugvoreinstellung (maschinenintern, Meßplatte, rechnergestützte optische Einstellung). Pro CNC-Maschine arbeitete eine Gruppe von zwei Teilnehmern; theoretische Unterweisungsabschnitte wurden in räumlicher Anbindung an den Maschinenbereich durchgeführt und Neues konnte sofort an der Maschine umgesetzt und eingeübt werden.

Die einzelnen Fertigungsaufgaben für die Facharbeiter hatten im Qualifizierungsteil neben der Programmerstellung unter Verwendung von Parametern insbesondere die Tätigkeit an der Maschine beim Einfahren und Überwachen zum Gegenstand. Während der daran anschließenden Labortage lag der Schwerpunkt der Tätigkeiten auf dem Herstellungsprozeß des Werkstückes mit der CNC-Maschine.

Gefertigt wurde unter diesen Gesichtspunkten eine Aluminiumschachtel, bestehend aus Deckel und Boden (siehe anliegende Zeichnungen). Hierbei kam es insbesondere auf die Maßhaltigkeit zweier aufeinander bezogener Teile und auf geeignete Relationen zwischen Spannkraft, Schnittwerten und zu erzielender Oberflächengüte an. Prozeßäußerungen unterschiedlicher Art wie das Rattern am Werkstück und Vibrationen der Maschine sowie behinderte Einsichtsmöglichkeiten des Zerspanungsortes (z.B. am Taschenboden) waren typische Problembereiche, mit denen die Facharbeiter umgehen mußten und deren Bewältigung aus CeA-Sicht besonders interessant waren.

Die Sicherheit der Facharbeiter im Umgang mit den CNC-Systemen nach dem dreitägigen Qualifizierungsteil bildete die Grundlage für einen selbstbewußten Umgang mit dem zweitägigen Laborteil. Dieses bezog sich sowohl auf die Erledigung der Aufgabenstellungen, die im übrigen nicht während des Lernteils bereits trainiert worden waren, als auch auf die Kommunikation mit den Wissenschaftlern.

Da der Qualifizierungsteil der Laborwoche ebenso nach erfahrungsorientierten Gesichtspunkten gestaltet war wie der Laborteil, bildeten die beiden Labortage keine besonders herausragende Sondersituation für die Facharbeiter, sondern hatten eher den Charakter der Anwendung und Umsetzung von erfaßten neuen Lerninhalten. Insofern hat sich die Integration von erfahrungsorientiert gestaltetem Qualifizierungsteil mit einem nachfolgenden Laborteil zu einer Versuchswoche bewährt. Die entstandene Einheit von Qualifizierungs- und Laborarbeit zeigt darüberhinaus, daß sich innovative Konzepte der Aus- und Weiterbildung diesen Merkmalen betrieblicher Facharbeit nicht verschließen dürfen, wollen sie das implizite Erfahrungswissen und seine Bedeutung für den effizienten Um-

gang mit rechnergestützten Maschinen als Werkzeug des Facharbeiters ernst nehmen.

## 2.6.7 Bewertung der Forschungsstrategie

Das im Laufe des Projekts entwickelte neue Forschungsdesign mit den Kennzeichen eines organisierten interdisziplinären Erfahrungsaustauschs zwischen den verschiedenen Forschungsakteuren sowie einer konsequenten Nutzerrückkopplung hat sich gut bewährt. Als Ergebnis steht nun ein methodologischer Ansatz und ein methodisches Instrumentarium für weitere Umsetzungen des Konzepts erfahrungsgeleiteter Arbeit in konkrete Technikentwicklung und -gestaltung zur Verfügung. Eine differenzierte Bewertung der Forschungsstrategie bezieht sich auf Barrieren der Kooperation und Verständigung zwischen Akteuren der Forschung bzw. auf das Ausmaß der erzielten Überwindung.

### (1) Kooperation zwischen Ingenieuren und Sozial-/Arbeitswissenschaftlern

Die wissenschaftsinterne Kooperation hat sehr gut funktioniert, es konnte ein gemeinsames Hintergrundverständnis vom Forschungsgegenstand der erfahrungsgeleiteten Arbeit und ihrer technischen Unterstützung erreicht werden. Bestehende Kooperations- und Verständigungsbarrieren, die mit disziplininternen unterschiedlichen Grundverständnissen und Herangehensweisen zusammenhingen, konnten bei Gewährleistung eines intensiven Austauschs überwunden werden. In diesem Zusammenhang hat sich insbesondere das Prinzip der Tandembildung aus Sozial-/Arbeitswissenschaftlern und Ingenieuren bewährt. Infolge der interdisziplinären Durchführung bereits der ersten empirischen Untersuchungen zum Arbeitshandeln konnte hier eine von allen Forschungspartnern getragene Begriffsbildung erreicht werden. Dem gemeinsam geteilten Verständnis des Konzepts der erfahrungsgeleiteten Arbeit kam innerhalb des Projektablaufs eine die einzelnen Aktivitäten integrierende Funktion zu. Dieses Konzept konnte in der Folge durch die ebenfalls interdisziplinär veranlagte Entwicklung und Erprobung prototypischer Komponenten technisch umgesetzt werden.

Ungewöhnlich war hierbei für die Sozialwissenschaftler, technische Machbarkeiten bereits in der Entwicklungs- und Konzeptionsphase mitzudenken. Als ein Ergebnis ist festzuhalten, daß dann, wenn Sozialwissenschaftler sehr frühzeitig in technische Entwicklung einbezogen und durch die Kooperation mit Ingenieuren ein Hintergrundverständnis der technischen Entwicklungsproblematik gewinnen können, sie in der Lage sind, innovative Beiträge bei der Umsetzung theoretischer Konzepte in praktische Gestaltung zu leisten.

Ungewöhnlich für Ingenieure war, im Entwicklungsprozeß nicht nur von technischen Funktionsmodellen auszugehen, sondern auch Fragen der Handhabbarkeit durch die späteren Nutzer mitzuberücksichtigen. Als ein Ergebnis wird festgehalten, daß eine am Nutzer und dessen Bedarf orien-

tierte Technikentwicklung und -gestaltung dann möglich wird, wenn Ingenieure bereits in arbeitswissenschaftliche Untersuchungen des Arbeitshandelns von Nutzern einbezogen sind.

## **(2) Herstellerübergreifende Kooperation**

Die herstellerübergreifende Kooperation zwischen Anwendern, Herstellern und Forschern funktionierte im Vergleich zur wissenschaftsinternen Kooperation weniger gut. Herstellerspezifische und marktbezogene Interessen stellen Barrieren für eine kooperative Entwicklung und Gestaltung technischer Funktionsbausteine dar. Dies erwies sich auch bei Versuchen als Barriere, den Hersteller-Partnerkreis zu erweitern. Ebenfalls bot die Organisationsform übergreifender Arbeitskreise keine ausreichende Überwindung der Kooperationsbarrieren.

Einzelkontakte und Kooperationen zwischen einzelnen Herstellern, Anwendern und Forschern ergab die Chance zu intensiveren Ergebnissen. Konkrete Entwicklungen wurden nur durch solche bilaterale Zusammenarbeit möglich. Als Ergebnis ist zu dokumentieren, daß einzelne praxisnahe Komponenten konzipiert und prototypisch produktionsnah verwirklicht wurden. Infolge der nicht ausreichend möglichen herstellerübergreifenden Kooperation konnten sie jedoch nicht auf das Niveau eines marktfähigen Standards gebracht werden. Herstellerübergreifend konnte lediglich in einer eher oberflächlichen Weise an allgemeinen Fragestellungen gearbeitet werden.

## **(3) Nutzerbeteiligung und ergänzende Nutzung von Labor- und Feldversuchen**

Die Einbeziehung von Nutzern in die Untersuchungen zum Arbeitshandeln sowie bereits sehr frühzeitig in die Erprobung von Prototypversionen erbrachte verschiedene Vorteile. Einerseits konnte Ingenieurwissenschaftlern auf diese Weise die Bedingung und Anforderung von Handhabbarkeit nahegelegt werden und ermöglichte entsprechende Operationalisierungen in technische Entwicklungen. Andererseits erlaubte die konsequente Nutzerbeteiligung den Sozialwissenschaftlern eine Konkretisierung ihrer Annahmen und zwang sie zur praxisnahen Operationalisierung und Verifizierung ihrer Annahmen.

Als Ergebnis wird festgehalten, daß eine Nutzerbeteiligung dann einen eigenständigen Beitrag erbringen kann, wenn sie ernst genommen wird. Dieser Beitrag stößt an Grenzen, wenn ein im betrieblichen Alltag notwendiges Arrangieren von Fachkräften mit defizitären Arbeitsmitteln nicht überwunden werden kann. Dann wird es den Nutzern nur sehr eingeschränkt möglich, ihren Fokus auf zunächst ggf. abseitig erscheinende Verbesserungspotentiale zu richten. Hier hat sich insbesondere der Ansatz "provokativer Technikvorschläge" bewährt. Durch die Einbeziehung von Facharbeitern bereits bei ersten Demonstrationen technischer Komponenten war es möglich, daß Nutzer einen Eindruck von vorher nicht einschätzbaren Unterstützungspotentialen gewinnen konnten. Daher war es ihnen möglich, eine neue Sichtweise auf Verbesserungen ihrer Arbeitsmittel einzunehmen.

In engem Zusammenhang mit den Ansätzen einer praxisnahen Umsetzung theoretischer Konzepte und dem der "provokativen Technikvorschläge" ist ebenfalls der im Projektablauf gewählte ergänzende Wechsel zwischen Labor- und Felderhebungen und -versuchen zu werten. Im Ergebnis hat sich die Aufeinanderbezogenheit von Feld- und Laborsituationen sowohl bei der empirisch fundierten Konzeptentwicklung wie auch bei der empirischen Erprobung und Modifikation der Technikbausteine gut bewährt. Bei den Untersuchungen zum Arbeitshandeln konnten auf diese Weise die Bedeutung und der Einfluß betrieblicher Produktionsbedingungen berücksichtigt und einzelne ausgewählte Aspekte des Arbeitshandelns vertieft untersucht werden. Bei der Entwicklung der Prototypen wurde in Laborversuchen auf diese Weise frühzeitig Unterstützungspotentiale erkannt. Deren innovatorischer Beitrag konnte in anschließenden betrieblichen Installationen unter Produktionsbedingungen verifiziert werden. Voraussetzung war allerdings ein bestimmter technischer Standard der Komponenten, der nicht bei allen erreicht werden konnte. Es mußte die technische Funktion sichergestellt und eine Behinderung der Arbeitsfähigkeiten der Facharbeiter ausgeschlossen werden.

## 2.7 Literatur zu Kapitel 2

- Ammon, R.; Raether, C.: Erfahrungsbericht eines Anwenders - Evaluation der WOP-Systeme. In: Liese, S. (Hg.): Werkstattorientierte Programmierverfahren (WOP). Ein Beitrag zur Weiterentwicklung qualifikationsorientierter Produktion. KfK-PFT 138, Karlsruhe: Kernforschungszentrum 1989.
- Arnheim, R.: Anschauliches Denken. (6. Auflage) Köln; Du Mont 1988.
- Becker, C.: Die sozio-ökonomischen Folgen des Computereinsatzes. Konsequenzen aus dem Ende des Technikdeterminismus. Frankfurt/New York: Campus 1992.
- Bender, Ch.; Graßl, H.: Technik und Interaktion - Zur Theorie und Empirie der Technikforschung. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag 1991.
- Bergmann, J.; Hirsch-Kreinsen, H.; Springer, R.; Wolf, H.: Rationalisierung, Technisierung und Kontrolle des Arbeitsprozesses - Die Einführung der CNC-Technologie in Betrieben des Maschinenbaus. Frankfurt/M./New York: Campus 1986.
- Blum, U.; Hartmann, E.A.: Facharbeiterorientierte CNC-Steuerungs- und -Vernetzungskonzepte. In: Werkstatt und Betrieb, 121 (1988) 6, S. 441-445.
- Blum, U.: Technische und personelle Möglichkeiten und Grenzen der Werkstatt-Programmierung. In: Werkstatt und Betrieb, 120 (1987) 4, S. 255-258.
- Böhle, F.: Auf der Suche nach dem "Knöpfchendrucker" - Arbeit an CNC-Maschinen bei flexibler Produktion und Massenfertigung. In: LTA-Forschung (Landesmuseum für Technik und Arbeit), Mannheim (1993) 10, S. 41-65.
- Böhle, F.: Grenzen und Widersprüche der Verwissenschaftlichung von Produktionsprozessen - Zur industriesoziologischen Verortung von Erfahrungswissen.

- In: Malsch, Th.; Mill, U. (Hg.): ArBYTE - Modernisierung der Industriesoziologie? Berlin: Edition-Sigma 1992, S. 87-132.
- Böhle, F.: Einfahren und Optimieren. In : Institut für Arbeitswissenschaft der Gesamthochschule Kassel (Hg.): Erfahrungsgelenkte Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung (CeA 1), S. 46-52. Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1992.
- Böhle, F.; Carus, U.; Schulze, H.: Manuelle Steuerung von CNC-Werkzeugmaschinen. Ein zukunftsweisender Ansatz für die steuerungstechnische Entwicklung. In: VDI-Z 135 (1993) 3, S. 14-20.
- Böhle, F.; Milkau, B.: Vom Handrad zum Bildschirm - Eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozeß. Frankfurt/M./New York: Campus Verlag 1988.
- Böhle, F.; Rose, H.: Technik und Erfahrung - Arbeit in hochautomatisierten Systemen. Frankfurt/M./New York: Campus Verlag 1992.
- Böhle, F.; Rose, H.: Erfahrungsgelenkte Arbeit bei Werkstattprogrammierung - Perspektiven für Programmierverfahren und Steuerungstechniken. In: Rose, H. (Hg.): Programmieren in der Werkstatt. Frankfurt/New York: Campus Verlag 1990, S. 11-95.
- Böhme, G.: Alternativen der Wissenschaft. Frankfurt: Suhrkamp 1980.
- Bolte, A.: Planen durch Erfahrung - Arbeitsplanung und Programmerstellung als erfahrungsgelenkte Tätigkeiten von Facharbeitern mit CNC-Werkzeugmaschinen. Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1993.
- Bolte, A.; Carus, U.; Schulze, H.; Striepe, S.: Erfahrungsförderlichkeit als Gestaltungsanforderung für Benutzungsoberflächen von CNC-Werkzeugmaschinen. In: Rödiger, K. H. (Hg.): Software-Ergonomie '93. Stuttgart: B.G. Teubner 1993.
- Braverman, H.: Die Arbeit im modernen Produktionsprozeß. Frankfurt/M./New York: Campus 1977.
- Brödner, P.: Werkstattorientierte Programmierverfahren - ein Werkzeug für den Facharbeiter. In: Liese, S. (Hg.): Werkstattorientierte Programmierverfahren (WOP). KfK-PFT 138. Karlsruhe: Kernforschungszentrum 1989, S. 3-19.
- Carbon, M.; Carus, U.; Heisig, P.; Schulze, H.: Versuch Rotoclear / Geräuschschlitz. (Unveröffentlichter Arbeitsbericht des CeA 1 Forschungsverbundes) Kassel 1993, S. 307-340.
- Carus, U.; Nogala, D.; Schulze, H.: Prozeßüberwachung. In: Institut für Arbeitswissenschaft der Gesamthochschule Kassel (Hg.): Erfahrungsgelenkte Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung (CeA 1). Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1992a, S. 52-59.
- Carus, U.; Nogala, D.; Schulze, H.: Theoretische Ansätze und erste Ergebnisse aus teilnehmender Beobachtung. In: Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Hg.): Erfahrungsgelenkte Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen als Element rechnerintegrierter Produktionsstrukturen (CeA 2). Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1992b, S. 12-29.
- Carus, U.; Rose, H.; Schulze, H.: Erfahrungszyklen beim Arbeitshandeln mit CNC-Werkzeugmaschinen. (Unveröffentlichter Arbeitsbericht des CeA 1 Forschungsverbundes). Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft der GhK 1992, S. 4-41.
- Deffner, G.: Lautes Denken - Untersuchungen zur Qualität eines Datenerhebungsverfahrens. Hamburg: Universität 1983.



- Dreyfus, H. L.; Dreyfus, St. E.: Künstliche Intelligenz - Von den Grenzen der Denkmaschine und dem Wert der Intuition. Reinbek: Rowohlt 1988.
- Dunkhorst, St.; Holub, R.; Martin, H.; Martin, P.: Qualifikation und Eignung - Merkmale an CNC-Steuerungen für die Werkstattprogrammierung (Drehen). In: CIM-Praxis, 14 (1987) 1, S. 36-46.
- Dünnwald, J.: Prozeßtransparenz und -regulation - Bislang vernachlässigte Aspekte zur Beherrschung von NC-Technologien. In: Rose, H. (Hg.): Programmieren in der Werkstatt. Frankfurt/M./New York: Campus Verlag 1990, S. 185-198.
- Flick, U.; Kardoff v., E.; Keupp, H., Rosenstiel, v., L.; Wolff, S.: Handbuch Qualitative Sozialforschung. München: Psychologie Verlags Union 1991.
- Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. (Hg.): Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der CAD/NC-Kopplung unter organisatorischen Gesichtspunkten. Abschlußbericht. FKM-Forschungshäfte Nr. 173, Frankfurt/M. 1993.
- Freyberg, Th. v.: Industrielle Rationalisierung in der Weimarer Republik - untersucht an Beispielen aus dem Maschinenbau und der Elektroindustrie. Frankfurt/M./New York 1985.
- Golinski, P.: Einrichten. In: Institut für Arbeitswissenschaft der Gesamthochschule Kassel (Hg.): Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung (CeA 1). Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1992, S.38-46.
- Groeben, N.: Handeln, Tun, Verhalten als Einheiten einer verstehend-erklärenden Psychologie. Francke-Verlag.
- Henderson, B. D.: Die Erfahrungskurve in der Unternehmensstrategie. (2. Aufl.) Frankfurt/M./New York 1974.
- Hieber, W. L.: Lern- und Erfahrungskurveneffekte und ihre Bestimmung in der flexibel automatisierten Produktion. München: Fahlen 1991.
- Hirsch-Kreinsen, H.: NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozeß - Amerikanische und deutsche Innovationsmuster der Fertigungstechnik. Frankfurt/M./New York: Campus 1993.
- Hirsch-Kreinsen, H.; Schultz-Wild, R.; Köhler, Ch.; Behr, M. v.: Einstieg in die rechnerintegrierte Produktion - Alternative Entwicklungspfade der Industriearbeit im Maschinenbau. Frankfurt/M./New York: Campus 1990.
- Hoffmann, Th.; Martin, H.: CNC-Steuerungen im Vergleich - Eigenschaften von CNC-Steuerungen zur Dreh- und Fräsbearbeitung. In: Rose, H. (Hg.): Programmieren in der Werkstatt. Frankfurt/M./New York: Campus Verlag 1990, S. 97-153.
- Kern, H.; Schumann, M.: Das Ende der Arbeitsteilung? - Rationalisierung in der industriellen Produktion. München: Beck 1984.
- Kief, H. B. : WOP-Hearing: Bericht über die Anhörung zu Erfahrungen mit werkstatorientierter Produktionsunterstützung. In: Werkstatt und Betrieb 124 (1991) 11, S. 910-912.
- Kochan, D. (Hg.): Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung. VDI-Fortschrittsberichte Nr. 285, Düsseldorf : VDI-Verlag 1993.

- Köhler, Ch.; Grüner, H.: Stamm- und Randbelegschaften - Ein überlebtes Konzept? In: Köhler, Ch.; Preisendörfer, P. (Hg.): Betrieblicher Arbeitsmarkt im Umbruch. Frankfurt/M./New York: Campus 1989, S. 175-206.
- Lamnek, S.: Qualitative Sozialforschung. Band 1 und Band 2. München, Weinheim: Psychologie Verlags Union 1988.
- Lay, G.; Boffo, M.; Lemmermeier, L.: Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von CNC-Drehmaschinen unter organisatorischen Gesichtspunkten. KfK-PFT 72. Karlsruhe: Kernforschungszentrum 1983.
- Lennartz, K. D.; Rose, H.: Flexibel fertigen auf der Basis erfahrungsgeleiteter Arbeit. In: VDI-Z 134 (1992) 5, S. 46-54.
- Liese, S. (Hg.): Werkstattorientierte Programmierverfahren - Ein Beitrag zur Weiterentwicklung qualifikationsorientierter Produktion. KfK-PFT 138, Karlsruhe: Kernforschungszentrum 1989.
- Martin, H.; Momberg, B.; Striepe, S.; Vollmer, Th.: CNC-Steuerungen im Vergleich. In: CIM-Praxis, 9 (1991) 6, S. 53-74.
- Martin, H.; Rose, H. (Hg.): CNC-Entwicklung und -Anwendung auf der Basis erfahrungsgeleiteter Arbeit. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Fb 658, Bonn: Wirtschaftsverlag NW 1992.
- Martin, H.; Rose, H.: Erfahrungswissen sichern statt ausschalten. In: Technische Rundschau 82 (1990) 12, S. 34-41.
- Nuber, Ch.; Schultz-Wild, R.: Facharbeitereinsatz und Verbreitung von Werkstattprogrammierung - Neue Durchsetzungschancen eines vieldiskutierten Konzepts? In: Rose, H. (Hg.): Programmieren in der Werkstatt. Frankfurt/M./New York: Campus Verlag 1990, S. 155-183.
- Pries, L.; Schmidt, R.; Trinczek, R. (Hg.): Entwicklungspfade von Industriearbeit - Chancen und Risiken der Produktionsmodernisierung. Opladen: Westdeutscher Verlag 1990.
- Rose, H.: Zukunft der Arbeit und die Bedeutung des Erfahrungswissens. In : Institut für Arbeitswissenschaft der Gesamthochschule Kassel (Hg.): Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung (CeA 1). Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1992, S.13-23.
- Rose, H.: Bedeutung des Erfahrungswissens für die Bedienung von CNC-Maschinen. In: ZwF 86 (1991) 1, S. 45-48.
- Rose, H. (Hg.): Programmieren in der Werkstatt - Perspektiven für Facharbeit mit CNC-Maschinen. Frankfurt/M./New York: Campus Verlag 1990.
- Rose, H.: Erfahrungsgeleitete Arbeit bei Werkstattprogrammierung. In: Rose, H. (Hg.): Programmieren in der Werkstatt. Frankfurt/M./New York: Campus Verlag 1990, S. 3-11.
- Ruby, J.: Die Notwendigkeit der Elektronik für die Automatisierung der Metallbearbeitung - Ein Mythos! In: LTA-Forschung (Landesmuseum für Technik und Arbeit), Mannheim (1993) 10, S. 3-23.
- Schneider, H. J.: Erfahrung in Wissenschaft und Alltag. In: Universitas (1987) 1, S. 44-55.
- Schultz-Wild, R.: Entwicklungsbedingungen von Arbeitsstrukturen in der mechanischen Fertigung. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Schultz-Wild, R. (Hg.): Rechnerintegrierte Produktion. Frankfurt/M./New York: Campus 1986, S. 143-173.

- Schultz-Wild, R.; Weltz, F.: Technischer Wandel und Industriebetrieb - Die Einführung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik. Frankfurt: Athenäum 1973.
- Schulz, H.; Spaht, G.; Storr, A.: Analyse der Verfahrenskette. Untersuchung im Rahmen des Verbundforschungsprojekts "Schnell und sicher zum ersten Werkstück". PTW, WBK, ISW, Darmstadt 1993.
- Seltz, R.; Hildebrandt, E.: Produktion, Politik und Kontrolle - Arbeitspolitische Varianten am Beispiel der Einführung von Produktionsplanungs- und Steuerungssystemen im Maschinenbau. In: Naschold, F. (Hg.): Arbeit und Politik. Frankfurt/M./New York 1985.
- Strauss, L. A.: Grundlagen qualitativer Sozialforschung. München 1991.
- Volpert, W.: Wie wir handeln - was wir können. Ein Disput als Einführung in die Handlungspsychologie. Heidelberg: Roland-Asanger Verlag 1992.
- Wahl, D.: Methodische Probleme bei der Erfassung handlungsleitender und handlungsrechtfertigender subjektiver psychologischer Theorien von Lehrern. In: Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie. Band XI (1979) 3, S. 208-217.
- Weltz, F.; Schmidt, G.; Sass, J.: Facharbeiter im Industriebetrieb - Eine Untersuchung in metallverarbeitenden Betrieben. Frankfurt/M.: Athenäum Verlag 1974.
- Witt, H. u.a.: Das Erleben der Arbeit an Arbeitsplätzen mit neuer Technik am Beispiel von CNC-Werkzeugmaschinen. Hamburg: Psychologisches Institut I der Universität Hamburg 1988.

### **3 Technische Funktionsbausteine zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit**

Die Prozeßbeherrschung durch eine qualifizierte Arbeitskraft ist abhängig davon, inwieweit sie prozeßnah arbeiten kann. Zum einen braucht sie hierzu Prozeßtransparenz, um Prozeßzustände umfassend bewerten zu können. Zum anderen muß es ihr möglich sein, direkt auf die Bearbeitungsprozesse aufgrund bewerteter Prozeßzustände zuzugreifen und dies zu beeinflussen. Da die Bearbeitungsprozesse von den Prozeßrahmenbedingungen abhängen, kommt es ebenso darauf an, die Handhabung der Werkzeugmaschinen möglichst einfach zu gestalten.

Das CeA-Konzept kann für erfahrungsgeleitete Arbeit geeignete (und gegenüber herkömmlichen, auf Bildschirme bezogene) Ansatzpunkte zur Gestaltung alternative handlungsorientierte Ein- und Ausgabemedien aufzeigen. Aus dieser Sichtweise lassen sich auch die wesentlichen Bewertungsmaßstäbe ableiten, um technische Komponenten hinsichtlich ihrer CeA-Eignung zu beurteilen.

Die folgenden Ausführungen stellen zunächst die Perspektiven für alternative Ein- und Ausgabemedien und Bewertungsmaßstäbe für eine Beurteilung technischer Komponenten vor. Daran anschließend werden exemplarisch Funktionsbausteine zur Unterstützung der Prozeßtransparenz und der Prozeßregulation über Eingriffe sowie Ergebnisse ihrer ersten Erprobung dargestellt. Abschließend wird die Wirtschaftlichkeit derartiger Funktionsbausteine eingeschätzt.

#### **3.1 Handlungsorientierte Informationsquellen und Zugriffsmöglichkeiten als alternative Ein- und Ausgabemedien** Helmuth Rose, ISF München

Das CeA-Konzept beinhaltet eine Sichtweise der Funktionen zur Prozeßbeherrschung, die das vorherrschende Verständnis kritisiert und Gestaltungsmöglichkeiten zur Verbesserung aufzeigt. Das bezieht sich sowohl

auf die bisher als ausreichend angesehenen Informationsquellen für Arbeitskräfte als auch auf deren Ein- und Zugriffsmöglichkeiten in und auf Bearbeitungsprozesse. Der Nachvollzug des CeA-Ansatzes wird erheblich erleichtert, wenn diese Kritik kurz angesprochen wird. In den folgenden Abschnitten wird deshalb zunächst die vorherrschende Sichtweise dargestellt, um dann die CeA-Sichtweise zu erläutern.

### **3.1.1 Verschiedene Sichtweisen über die Funktion der Arbeitskraft bei der automatischen Zerspanung**

Im Mittelpunkt der vorherrschenden Sichtweise über Produktion und Leistung stehen das Funktionsmodell der Maschine und das Fertigungssystem. Die Arbeitskraft erledigt nur noch Restarbeiten zur Sicherung der Leistungsfähigkeit. Demgegenüber geht die CeA-Sichtweise von der "Beherrschung" der Werkzeugmaschine bei Bearbeitungsprozessen aus, d.h. von der Handhabung des Funktionsmodells in Abhängigkeit von aktuellen Arbeitssituationen in variablen Kontexten.

#### **(1) Vorherrschende Sichtweise: Arbeitskräfte als informationsverarbeitendes System**

Entsprechend dem Verständnis vom technischen Fortschritt und der Leistungsfähigkeit künstlicher Intelligenz betrachtet die vorherrschende Sichtweise vorrangig die maschinelle Bearbeitungsabläufe steuernden und begleitenden Informationsprozesse. Die Arbeitskraft an der Werkzeugmaschine wird bei dieser Sichtweise lediglich als "Bediener" und Überwacher der Informationsverarbeitung gesehen. Sie macht Eingaben in das informationsverarbeitende System, mit denen automatische Bearbeitungsprozesse ausgelöst werden und überwacht die Effekte der Bearbeitung nach vorgegebenen Regeln und Vorschriften (Muthig 1990). Neben der Auslösung von automatischen Bearbeitungsprozessen ist sie auch zuständig für die Durchführung von Meßvorgängen im Verlauf und am Ende der Bearbeitung. Die Arbeitskraft verhält sich ähnlich wie ein informationsverarbeitendes System. Im Vordergrund stehen kognitiv-ratio-nale Vorgänge wie das Erfassen von Daten, die Verwendung von Daten nach explizierten Regeln, z.B. für Schlußfolgerungen und die Auslösung von automatischen Prozessen. Darüber hinaus ist sie als "Restsensor", als "Handlanger" zur Einrichtung von Maschinen und zur Bereitstellung von Werkzeugen sowie schließlich als "Transporteur" von Teilen zuständig. Die "eigentliche" Produktion ist bei dieser Sichtweise ausschließlich vom Bearbeitungsmodell und entsprechend diesem Modell fungierender Informationstechnik bestimmt. Dies hat Auswirkungen sowohl hinsichtlich der notwendigen Prozeßtransparenz wie auch hinsichtlich der notwendigen Prozeßregulation, worauf in Kapitel 3.3 eingegangen wird

## **(2) CeA-Sichtweise: Die Arbeitskraft als "Experte" der Prozeßbeherrschung**

Im CeA-Konzept ist die qualifizierte Arbeitskraft nicht nur mit der Ausführung von Anweisungen oder der Durchführung von Beobachtungs- und Überwachungsaufgaben bei der Informationsverarbeitung befaßt, sondern trifft auch aufgrund der jeweiligen Arbeitssituation und der in ähnlichen Arbeitssituationen gemachten Erfahrungen Entscheidungen zur Optimierung von Bearbeitungsprozessen oder zur Stabilisierung von Randbedingungen (Rose 1991). Die Arbeitskraft handelt aufgrund verantworteter Entscheidungen, indem sie z.B. Bearbeitungsparameter korrigiert oder Zeitpunkte für Prüfvorgänge vornimmt. Bei diesen Entscheidungen und Handlungen orientiert sich die Arbeitskraft sowohl an Rückmeldungen der informationsverarbeitenden Systeme als auch an der direkten Anschauung. Da der Zugang zu den informationsverarbeitenden Systemen sich entsprechend der vorherrschenden Sichtweise nur auf den Umgang mit dem Funktionsmodell bezieht, erhalten die qualifizierten Arbeitskräfte gegenwärtig nur unzureichend Informationen über die realen Zerspanungsvorgängen an den Dreh- und Fräsmaschinen. Darüber hinaus wird die direkte sinnliche Anschauung von Bearbeitungsvorgängen erschwert, wenn Werkzeugmaschinen aus sicherheitstechnischen Gründen verkapselt werden, so daß nur durch Sichtfenster in den Maschinenraum (soweit es das Spritzen der Kühlschmiermittel zuläßt) Einsicht genommen werden kann und (zur Bewertung von Bearbeitungszuständen herangezogene) Geräusche gedämmt werden. Entsprechend der vorherrschenden Sichtweise werden der Arbeitskraft nur wenige Prozeßeingriffe zugeordnet. Die an den Werkzeugmaschinen noch befindlichen Stellelemente und die von der Steuerung zulässigen Einflußmöglichkeiten sind gering und in der Regel aufwendig zu handhaben. Die herkömmlichen Ein- und Ausgabemedien für die Steuerung und Einrichtung von Werkzeugmaschinen sind deshalb für prozeßnahes Arbeiten äußerst unvollkommen geeignet. Der qualifizierten Fachkraft erwachsen eher Input- als auch Output-Barrieren beim Zugang zur Steuerung und zur Maschine als Unterstützungsmöglichkeiten für die Erfahrungsbildung und -nutzung.

## **(3) Die Notwendigkeit alternativer Ein- und Ausgabemedien**

In den 80er Jahren ist im Zuge der Entwicklung der Softwareergonomie eine wesentliche Verbesserung der Informationsdarbietung erzielt worden, um den Zugang zu den Funktionsmodellen der informationsverarbeitenden Systeme herzustellen. Hier ist insbesondere das WOP-Konzept zu nennen, das mit Hilfe von Klartext- und Grafikeingabe Programmeingaben im Dialog erleichtert (Fähnrich und Raether 1987). Gleichwohl ist damit der Bedarf für prozeßnahes Arbeiten nicht abgedeckt, da Programmeingaben nicht die Hauptaufgabe der qualifizierten Fachkraft an der Werkzeugmaschine darstellen. Außerdem wurden, worauf im Kapitel 3.3 eingegangen wird, bestimmte Formen der direkten Steuerung von Werkzeugmaschinen, bei der schrittweise manuell vorgegangen wird, vernachlässigt. Die qualifizierte Fachkraft ist vor allem mit der Stabilisierung



der Rahmenbedingungen z.B. dem Einrichten von Maschinen, dem Optimieren von Programmläufen, der Sicherung von Produktqualität im Bearbeitungsprozeß und der ökonomischen Nutzung von Werkzeugen befaßt. Im Mittelpunkt ihrer Interessen und ihrer Aufmerksamkeit steht die Vorbereitung des Fertigungsprozesses und die "Beherrschung" der Zerspanung. Hierzu bedarf sie neuartiger technischer Unterstützung, die alternativ ist zu einer einseitigen Bevorzugung nur von Bildschirmoberflächen und symbolischen Darstellungen oder hinsichtlich der Verfügung über Stellelemente mit geringem Funktionsumfang. Die heute verfügbare Funktionalität zur Handhabung (z.B. durch Override-Regler, elektronische Handräder) reicht für eine handlungsorientierte "Beherrschung" nicht aus. Aus der Sicht der qualifizierten Arbeitskraft besteht Bedarf für alternative Ein- und Ausgabemedien zur Erhöhung der Prozeßtransparenz, Verbesserung von Prozeßeingriffen und anderen Formen von Programmeingabe (Lennartz und Rose 1992). Den alternativen Ein- und Ausgabemedien zur Unterstützung der Prozeßtransparenz geht es um die Ermöglichung zusätzlicher Informationen durch Erweiterung der sinnlichen Wahrnehmung über Prozeßzustände mittels visuellen, akustischen und taktil-kinästhetischen Indikatoren. Bei den alternativen Ein- und Ausgabemedien zur Unterstützung von Prozeßeingriffen handelt es sich um Stellelemente für manuelle Bewegungen ebenso wie neue symbolisch vermittelte Zugänge zum Informationssystem. Bei den alternativen Ein- und Ausgabetechniken für die Programmerstellung geht es um manuelle Stellelemente an der Maschine, mit denen im Zusammenhang mit dem Steuerungssystem Bearbeitungsschritte nach und nach vollzogen werden können, gleichgültig, ob dadurch ein Programmdokument entsteht und archiviert wird.

<b>Erhöhung der Prozeßtransparenz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• konstruktive Maßnahmen an der Werkzeugmaschine zur direkten Wahrnehmung von Prozeßäußerungen</li> <li>• Nutzung von Sensoren auf der Grundlage neuer analoger Darstellungsformen von Prozeßäußerungen (optisch, akustisch, taktil)</li> </ul>
<b>Verbesserung und Vereinfachung des Prozeßeingriffs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erweiterte Funktionen des Handsteuergerätes</li> <li>• Nutzung manueller Eingaben</li> <li>• On-line-Speicherung von Technologiewerten</li> <li>• vereinfachtes Abfahren von Programmabschnitten, z.B. nach Werkzeugkorrektur</li> </ul>
<b>maschinennahe Programmerstellung / Programmkorrektur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• einfache Nutzung von Zyklen und Makros</li> <li>• Teach-in-Verfahren</li> <li>• Verbesserung der Lesbarkeit von Programmen</li> <li>• vereinfachte Möglichkeiten zur Programmkorrektur</li> </ul>

**Bild 3.1:** Ansatzpunkte für alternative Ein- und Ausgabemedien

### 3.1.2 Handlungsorientierte Informationsquellen für Arbeitskräfte

Entsprechend den unterschiedlichen Sichtweisen über die Funktion von Arbeitskräften bei der Prozeßbeherrschung wird auch ein jeweils anderer Bedarf hinsichtlich der Informationsquellen und ihrer Darstellung definiert.

#### (1) Vorherrschende Sichtweise: Zuverlässigkeit und Sicherheit für die Datenerfassung und -verwendung

Wird die Arbeitskraft lediglich als ein "Bediener" des informationsverarbeitenden Systems gesehen, so kommt es wesentlich darauf an, daß der "Bediener" die ihm zur Verfügung gestellten Daten zuverlässig genau erfaßt und mit hoher Sicherheit damit verbundene Reaktionen auslösen kann (Colin 1990). Die Arbeitskraft soll möglichst keine Fehler bei der Erfassung von Daten und bei ihren Reaktionen nach vorgegebenen Regeln machen. Informationsquellen sind für die Arbeitskraft vor allem symbolisch vermittelte Signale über Maschinenfunktionen und Daten aus der Steuerung. Hinsichtlich des Bearbeitungsprozesses erhält die Arbeitskraft durch diese Signale und Daten Informationen über den Status des Prozesses im Bearbeitungsmodell (z.B. hinsichtlich der Position von Werkzeugen) und über die Aktivierung von Maschinenfunktionen (z.B. Einsatz von Kühlschmiermitteln und die Aktiviertheit von Antriebskräften). In der betrieblichen Praxis (auch ohne CeA-Ein- und Ausgabemedien) werden diese Informationsmöglichkeiten mit anderen verbliebenen oder reduzierten Informationsquellen, z.B. Sicht durch ein Schutzfenster oder verbleibende Geräusche aus dem Raum der Maschine von den Arbeitskräften kombiniert (Schmidt, Klaiber und Asteriadis 1991). Sie arbeiten somit ansatzweise erfahrungsgeleitet ohne adäquate technische Unterstützung. Nach der vorherrschenden Sichtweise geht es also vor allem um eine fehlerfreie Erfassung und Verwendung von Daten und Informationen, die für das Funktionieren der Steuerung erforderlich sind. Signale und zu erfassende und verwendete Daten sollen dementsprechend vor allem einfach sein, eine eindeutige Bedeutung haben, so daß sie auch isoliert verwendet werden können und eine damit gekoppelte Reaktion nahelegen (Zimolong 1990).

#### (2) CeA-Sichtweise: Sinnhaftigkeit und Schlüsselfähigkeit von Informationsquellen

Aus CeA-Sicht reichen die Informationen, die bisher durch Signale über Maschinenfunktionen oder Datenverwendung aus dem Steuerungssystem entstehen, nicht aus, um Prozeßnähe zu erzeugen. Für die Bewertung von Prozeßzuständen, Materialeigenschaften und Werkzeugeinsatz bedarf es sowohl direkter Anschauung als auch neuartiger Informationsquellen, mit denen analog wahrgenommen werden kann. Es geht darum, Informationsquellen zu schaffen, die eine unmittelbare Sinnhaftigkeit einschließen oder Schlüssel für Assoziationen aufgrund von Erlebnissen in ähnlichen Situationen sein können (Rose 1991). Originäre Indikatoren über Prozeßzustände sind Ansichten oder Geräusche aus dem Arbeits-

raum, die z.B. durch neue Formen der Maschinenkonstruktion oder neue technische Komponenten zugänglich gemacht werden. Neuartige Indikatoren sind transformierte Daten bei Steuerungsvorgängen in Kombination mit vor allem für die Bewertung von Prozeßzuständen bedeutsamen automatisch erfaßbaren Daten. Hierzu gehören die Vermittlung von Körperschallemissionen (die allenfalls als Vibration wahrnehmbar ist) ebenso wie die Vermittlung weiterer Informationsquellen, z.B. von Kräften. Die Arbeitskraft erhält somit zusätzliche, transformierte Indikatoren, um Prozeßzustände verfolgen zu können und daraus Schlüsse hinsichtlich Werkstückqualität und Werkzeugeinsatz ziehen zu können (Böhle 1992). Der wesentliche Unterschied zu der vorherrschenden Sichtweise besteht darin, die erfaßten und aufbereiteten Prozeßäußerungen sinnlich (visuell, akustisch und taktil-kinästhetisch) der Arbeitskraft dergestalt zur Verfügung zu stellen, daß ihr Verlauf eine direkte Orientierung ermöglicht. Es geht also nicht darum, isolierte Daten zu erfassen, zu visualisieren und mit eindeutigen Bedeutungen zu belegen. Der Arbeitskraft werden lediglich Indikatoren bereitgestellt, die sie in Kombination zur Bewertung heranzieht. Die Deutungsmuster sind im Gedächtnis der Arbeitskräfte enthalten. Diese können entsprechend dem Kontext in der Werkstatt variieren. Bestimmend sind nicht Muster, die von außen vorgegeben werden. Informationsquellen können bei diesem Verständnis auch diffus sein und kontextuell variieren. Es kommt lediglich darauf an, daß sie einen Schlüssel darstellen, um Deutungsmuster oder Bilder aus dem assoziativen Gedächtnis aktivieren zu können. Hilfreich ist vor allem, wenn mehrere Sinne gleichzeitig aktiv werden können, weil Kombinationen miteinander Feinorientierungen zulassen.

<b>Indikatoren</b>	
a) originär erfaßbar Geräusche	technisch vermittelt durch Mikrophon Körperschallsensor
b) originär nicht erfaßbar Werkzeugbelastung Wege Geschwindigkeit	Kraftsensor Strom digital-inkrementale Systeme Tachometer
<b>Darstellungsformen von Indikatoren</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• analog direkt</li> <li>• transformiert</li> </ul>	

**Bild 3.2:** Gliederung der Indikatoren

### **(3) Bewertungsmaßstab zur Beurteilung von Informationsquellen**

Arbeitskräfte bedürfen für die Grob- und Feinorientierung bei ihrer Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen verschiedener Informationsquellen, mit denen sie über den Verlauf im Bearbeitungsmodell der Steuerung, den Aktivierungszustand von Maschinenfunktionen und den Zustand von Zerspanungsprozessen Aufschlüsse erhalten. Für prozeßnahes Arbeiten benötigen die Arbeitskräfte neben Informationsquellen, die Aufschluß über den Verlauf im Bearbeitungsmodell der Steuerung geben, vor allem Informationsquellen über Maschinenfunktionen und Prozeßäußerungen. Sollen neue Ein- und Ausgabemedien hinsichtlich ihrer CeA-Eignung bewertet werden, besteht ein Kriterium für die Bewertung darin, inwieweit (gegenüber den aufbereiteten Informationen der Steuerung) zusätzliche Informationen gewonnen werden können. Im Vergleich solcher zusätzlichen Informationen mit den verfügbaren Informationen der Steuerung oder in Kombination verschiedener Informationsquellen untereinander kann die Grob- und Feinorientierung erweitert werden. Als weiteres Kriterium gilt, inwieweit die zusätzlichen Informationsquellen von der notwendigen Aufmerksamkeit ablenken, weil Interpretationsvorgänge notwendig werden. Eine gute Informationsquelle bedarf keines zusätzlichen psychischen Energieaufwands. Sie ist ein direkter Schlüssel, um Assoziationen aktivieren zu können. CeA-Informationsquellen sind solche, die den Arbeitskräften erlauben, sie selbständig zu modifizieren, so daß sie explorativ vorgehen können. Neuartige, transformierte Indikatoren werden so dargestellt, daß die Arbeitskraft von sich aus Interpretationsmuster bilden kann. Es bleibt der Arbeitskraft auch überlassen, ob sie Kennlinien und Kennwerte als Markierungspunkte für automatische Auswertungen setzen will.

Letztendlich ist auch als Bewertungskriterium anzusehen, inwieweit eine Informationsquelle zur Aufgabenerfüllung im Arbeitshandeln beiträgt. Es können um so mehr Erfahrungen mit der Informationsquelle gemacht werden, je mehr sie zur Erfüllung mehrerer Aufgaben, z.B. zum Einrichten, zum Optimieren und zum Überwachen, herangezogen werden kann. Es ist weiter von Vorteil, wenn sich einzelne Informationsquellen mit anderen kombinieren lassen, so daß verschiedene Bezugssysteme angewendet werden können. Hierdurch reduzieren sich die subjektiven Fehlermöglichkeiten, d.h. das Erlernen nicht-effektiver Erfahrungen oder "negativer" Erfahrungswerte.

<b>CeA-Sichtweise</b>	<b>herkömmliche Sichtweise</b>
Informationen über Bearbeitungsmodell wichtig	Informationen über Bearbeitungsmodell (symbolisch) vorrangig
zusätzliche, vielfältige Informationen über Maschinenfunktionen und Zerspanungsprozesse für die Erweiterung der Grob- und Feinorientierung	nur reduzierte Informationen (z.B. Anzeigen) über Maschinenfunktionen und Zerspanung
direkte Deutung erhält Aufmerksamkeitspotential	Anwendung von vorgegebenen Regeln zur Interpretation
Modifizierung durch Arbeitskraft (z.B. Markierungen)	Vorgabe von Toleranzbereichen
besondere Eignung für ein Teil	Unterstützung für ausführende Operationen
Mehrfachverwendung von Informationen (z.B. bei Kombination)	Einmalverwendung für festgelegten Bereich

**Bild 3.3:** Bewertungsmaßstab für Informationsquellen

### 3.1.3 Handlungsorientierte Ein- und Zugriffsmöglichkeiten für Arbeitskräfte

Bei der vorherrschenden Sichtweise wird davon ausgegangen, daß nach Programmerstellung und -test alles weitere mehr oder weniger automatisch abläuft und es nur um die Sicherung geplanter Programmläufe als Restaufgabe geht. Dabei wird weiter unterstellt, daß die Anzahl hierbei auslösbarer Fehler begrenzt ist und zu ihrer Behebung Regeln bekannt sind. Eingriffsmöglichkeiten haben in dieser Sicht nur den Zweck, Fehler zu korrigieren. In der CeA-Sichtweise dienen Ein- und Zugriffsmöglichkeiten zur Rückkoppelung mit dem Zerspanungsprozeß und sind unverzichtbar für die Erfahrungsbildung zur Bewertung von Prozeßzuständen.

#### (1) Vorherrschende Sichtweise: Sicherung automatischer Prozesse

Da bei der vorherrschenden Sichtweise beim Einsatz eines getesteten Programms alles weitere regelhaft verläuft, hat der "Bediener" an der Ma-

schine lediglich die Funktion, Programme auszulösen und zu stoppen, sofern unvorhersehbare Ereignisse auftreten. Das können Fehler im andernorts erstellten Programm wie auch Effekte aufgrund unzureichender Materialeigenschaften oder Werkzeuge sein. Der "Bediener" macht entweder selbst die entsprechenden Korrekturen oder läßt sich lieber durch andere Fachkräfte unterstützen. Entscheidend ist bei dieser Sichtweise, daß es sich lediglich um Veränderung von Programmen handelt. Für das Einrichten der Maschine werden dem "Bediener" möglichst einfache Stellelemente zur Verfügung gestellt, die möglichst fehlerrobust, d.h. "idiotensicher" zu sein haben. Der direkte manuelle Umgang mit der Werkzeugmaschine wird bei der vorherrschenden Sichtweise eher als vernachlässigbarer Arbeitsanteil angesehen, es wird erwartet, daß es sich auch letztlich nur noch um Restfunktionen handelt, die im Zuge weiterer Automatisierung noch weiter zurückgedrängt werden können.

## **(2) CeA-Sichtweise: Manuelles Steuern als erfahrungsbildende Aufgabe**

Im CeA-Ansatz steht die Arbeitskraft durch den direkten Umgang mit der Maschine in einem emphatischen Bezug zur Maschine. Einflüsse auf den Programmlauf und Eingriffe in Zerspanungsprozesse schaffen die notwendige Rückkoppelung, um Erfahrungswerte hinsichtlich der Technologien zu gewinnen und die Nähe zum konkreten Bearbeitungsprozeß herzustellen. Solche Erfahrungswerte sind wichtig, insbesondere in der Einzelfertigung mit kleinen und mittleren Losgrößen, die im Fokus der CeA-Forschung standen, aber auch in der Serienfertigung (z.B. zum Testen von Programmtypen). Einflußnahme auf oder Eingriffe in Bearbeitungsprozesse gestatten den qualifizierten Arbeitskräften schrittweises exploratives Vorgehen, so daß ein Produkt nach und nach erstellt werden kann, bzw. nur bestimmte Bearbeitungsvorgänge durchgeführt werden können (ohne daß unbedingt ein Programm erstellt und archiviert werden muß). Menschliche Fähigkeiten räumliche Vorstellungen zu entwickeln oder zeitliche Abläufe zu empfinden, können durch Einflußnahme und Eingriffe auf Prozesse unmittelbar genutzt werden. Bewegungen mit den Händen und Bewegungsfolgen im Zusammenhang mit Bearbeitungsvorgängen werden von Arbeitskräften durchgeführt, ohne daß sie Handlungspläne hierfür generieren (Böhle und Rose 1990). Es handelt sich auch nicht um bloße Einübung von Fertigkeiten, da die Bewegungen von Hand und Körper (mit z.B. einer Veränderung von Blickwinkeln) kontextuell bedingt variieren können. "Greifen" mit der Hand und "Begreifen" von Bearbeitungsvorgängen korrelieren unmittelbar miteinander. Es geht um sinnliche Intelligenz als Teilbereich der menschlichen Intelligenz, die auf diese Weise zum Einsatz gelangt. Die Koordination von Kopf- und Handarbeit läßt andere Leistungen zu als deren einzelner Gebrauch. Es können unmittelbare Reflexionen folgen. Sehen, Hören und Greifen erlauben bei simultanem Einsatz auch besondere Feinabstimmungen. Dies ist insbesondere bedeutsam bei variablen Kontexten. Darüber hinaus sind in zeitkritischen Situationen schnellere Reaktionen möglich, weil umständliche lo-



gisch-analytische Vorgehensweisen oder deren Nachvollziehen in speziellen Systemen überflüssig werden.

### **(3) Bewertungsmaßstab zur Beurteilung von Ein- und Zugriffsmöglichkeiten**

Nach vorherrschender Sicht ist der Umfang von Eingriffsmöglichkeiten letztlich reduzierbar auf ein paar Stellfunktionen im Umgang mit Maschinen und ihrer Steuerung. Einfache Stellelemente, Tasten auf Steuerpulten oder Aufruf von Funktionen auf dem Bildschirm reichen aus, um ganz bestimmte, eindeutig definierte Vorgänge auszulösen. Diese Vorgänge sind durchzuführen, um die Voraussetzungen für Programmläufe im Bearbeitungsmodell zu sichern.

Nach dem CeA-Konzept sind Ein- und Zugriffsmöglichkeiten von Vorteil, wenn sie eine leichte Handhabung der Maschine ermöglichen und im Zusammenhang mit Informationsquellen komplexe Zustandsbewertungen von Prozessen erlauben. Es geht also um Rückkoppelung mit dem laufenden Zerspanungsprozeß. Eine CeA-Ein- und Zugriffsmöglichkeit gewährleistet vor allem auch die Kopplung der Wahrnehmung von Informationsquellen mit unmittelbaren Handlungsvollzügen. Es geht dabei vor allem um erweiterte Zugriffsmöglichkeiten (wie sie nicht schon durch Einflußnahme auf Steuerungen gebracht werden können). Die CeA-Ein- und Zugriffsmöglichkeiten dürfen keinen zusätzlichen Aufwand für ihre Nutzung erfordern. Die Ein- und Zugriffsmöglichkeit ist dem ausgelösten Prozeß kompatibel. Werden Richtungen geändert oder Geschwindigkeiten im Prozeß, so muß die Eingriffsmöglichkeit dieses unmittelbar analog zulassen. Eine CeA-Zugriffsmöglichkeit erweitert den Spielraum individueller Handhabung mit Maschine und Steuerungstechnik. Die qualifizierte Arbeitskraft wird in die Lage versetzt, je nach Kontext, verschiedene Alternativen zu wählen, d.h. entsprechend den verfügbaren Informationsquellen und zu verfolgenden Leistungszielen wie z.B. Rüstzeitminimierung, Sicherung von Produktqualität und Auslastung von Werkzeugen. Mit Hilfe der CeA-Ein- und Zugriffsmöglichkeiten müssen spezifische Aufgaben beim Arbeitshandeln leichter und zeitkritischer bewältigbar sein. Das gilt sowohl für Einrichtungarbeiten als auch für die Durchführung von Bearbeitungsprozessen und das Optimieren von Bearbeitungsparametern. Schließlich ist von CeA-Ein- und Zugriffsmöglichkeiten zu verlangen, daß sie mit bereits marktgängigen Eingriffsmöglichkeiten hinsichtlich der Maschinenfunktion und Einflußmöglichkeiten auf die Steuerung kombiniert eingesetzt werden können. Dies gilt ebenso für die Nutzung verschiedener Informationsquellen. Auf diese Weise sind die Chancen, Erfahrungen zu sammeln, erhöht. Im Vergleich der Effekte bei variiertem Einsatz können auch "falsche" Erfahrungswerte erkannt, ebenso kann aber auch der Bereich "sicherer" Auswirkungen abgesteckt werden.

<b>CeA-Sichtweise</b>	<b>herkömmliche Sichtweise</b>
vielfältige Stellelemente, mit Prozeßrückgekoppelt	wenige Stellelemente elektronisch vermittelt (Tasten, Menü)
zeitkritische Nutzung mehrerer Sinneskanäle gleichzeitig (Sehen, Hören, Greifen)	visuelle Wahrnehmung im Vordergrund, Umsetzen in kognitive Vorgänge notwendig
unmittelbare Erfahrbarkeit (z.B. Richtung und Geschwindigkeit simultan)	Interpretation erforderlich (z.B. für Richtung oder für Geschwindigkeit)
individuelle Vorgehensweisen möglich für Beachtung mehrerer Effekte gleichzeitig	Wahl zwischen vorgegebenen Prozessen (für Sicherung einzelner Effekte)
spezielle Eignung für eine Teilaufgabe (für besondere Erfahrungen)	Unterstützung nur für eine ausführende Operation
Eignung für Mehrfachverwendung	Einmalverwendung für festgelegten Bereich

**Bild 3.4:** Bewertungsmaßstab für Ein- und Zugriffsmöglichkeiten

Im CeA-Forschungsverbund "Prozeßbeherrschung durch Erfahrungswissen und deren technische Unterstützung" sind zu allen handlungsbezogenen technischen Komponenten (zur Erhöhung von Prozeßtransparenz, Verbesserung der Prozeßregulation und Erweiterung der Programmerstellung) prototypische Realisierungen entwickelt und erprobt worden.

### 3.2 Funktionsbausteine zur Unterstützung der Prozeßtransparenz

Die Entwicklung, prototypische Realisierung und Erprobung verschiedener technischer Funktionsbausteine zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit bildeten den Forschungsschwerpunkt der beteiligten ingenieurwissenschaftlichen Institute innerhalb des CeA-Verbundes. Aufbau-

end auf die interdisziplinär durchgeführten Untersuchungen in der Erhebungsphase wurden unter Beteiligung zahlreicher Facharbeiter Konzepte einzelner Funktionsbausteine erarbeitet. Die prototypische Realisierung erfolgte bei den technischen Instituten, wobei so weit wie möglich auf Standardkomponenten zurückgegriffen wurde. Trotz dieses partizipativen Entwicklungsansatzes war bei der Erprobung einzelner Funktionsbausteine festzustellen, daß die Umsetzung die ursprünglich geäußerten Facharbeiterwünsche nicht erfüllen konnte.

Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, daß einerseits auf seiten der Forscher ein anderes Verständnis von "Facharbeit" bestand als bei den Facharbeitern selbst, andererseits zeigt sich hier eine mangelnde Vorstellungskraft über die Auswirkungen nur vage bekannter Komponenten auf Facharbeiterseite.

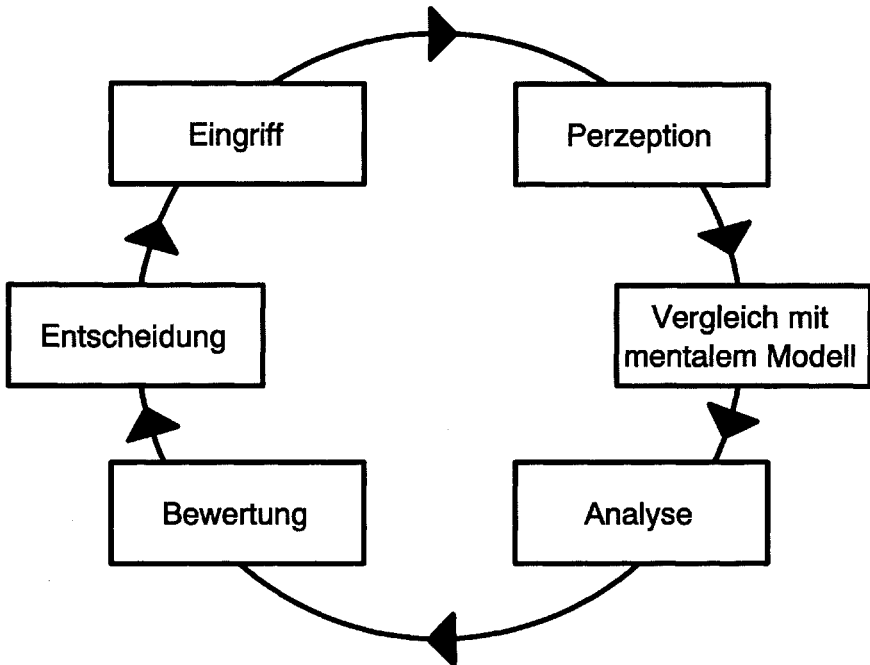
Die Lösung dieses Problems kann nur in einem noch engeren Kontakt zwischen Facharbeitern und Entwicklern liegen, wobei bei größeren Entwicklungsvorhaben eine entsprechende Beteiligungsqualifizierung den Kommunikationsprozeß wesentlich vereinfachen kann.

Die Entwicklung durch die technischen Institute (AIW, FhG-IPK, PTW und WZL) und insbesondere die Erprobung der Komponenten wären ohne die Unterstützung zahlreicher Firmen nicht möglich gewesen. Wir möchten uns an dieser Stelle ganz herzlich bei den Firmen Autz + Herrmann Metallwaren- und Maschinenfabrik, Bernd und Martin Augenstein Sondermaschinenbau, BMW AG, Gildemeister AG, Hohe KG, Maho AG, Mikron AG, Herbert Waldmann GmbH & Co. und der E.C.H. Will GmbH bedanken.

### 3.2.1 Visuelle Indikatoren

Martin Carbon und Peter Heisig, FhG-IPK Berlin; Roland Ruppel, PTW Darmstadt; Robert Mertens, WZL Aachen

Die visuelle Wahrnehmung des Bearbeitungsprozesses bzw. die Vermittlung visueller Indikatoren wurde im Rahmen des CeA-Projektes als die wesentliche Einflußgröße der Prozeßtransparenz identifiziert. Indikatoren sind im einzelnen die Spanentwicklung, die Spanform, die Oberflächen-güte, Kollisionsbetrachtungen sowie die erstellte Geometrie des Werkstücks. Dabei ist davon auszugehen, daß der zum Aufbau von Erfahrungswissen zu durchlaufende Erfahrungszyklus (Bild 3.5) im Bereich der Perzeption durch mangelnde Sicht auf den Bearbeitungsprozeß gestört wird.



**Bild 3.5:** Erfahrungszyklus (nach Mertins, Schallock, Carbon und Heisig 1993)

Es kann nun zwischen einer kurzfristigen und einer längerfristigen Beeinträchtigung des Aufbaus von Erfahrungswissen unterschieden werden. Kurzfristig wird es dem Facharbeiter erschwert durch die mangelnde Perzeption eine Rückmeldung auf seine Eingriffe (z.B. Veränderungen der Technologiewerte über Override-Funktion) zu bekommen, so daß nur begrenzt Erfahrung über die Beeinflussungsparameter aufgebaut werden kann. Das bedeutet im Einzelfall, daß die Folgen einer Veränderung, z.B. des Vorschubwertes, nicht direkt ersichtlich werden. Langfristig führt dies wiederum dazu, daß der Aufbau von Zerspanungs-Wissen behindert wird. Es wird demzufolge nicht nur das einzelne Werkstück mit eventuell ungeeigneten Zerspanungsparametern bearbeitet, sondern das "Gefühl" für den Prozeß - für das Zusammenspiel von Werkzeug und Werkstoff - geht verloren.

Die wesentlichen Ursachen für die Behinderungen der visuellen Wahrnehmung des Bearbeitungsprozesses an gekapselten CNC-Werkzeugmaschinen können in folgende Punkte aufgeteilt werden:

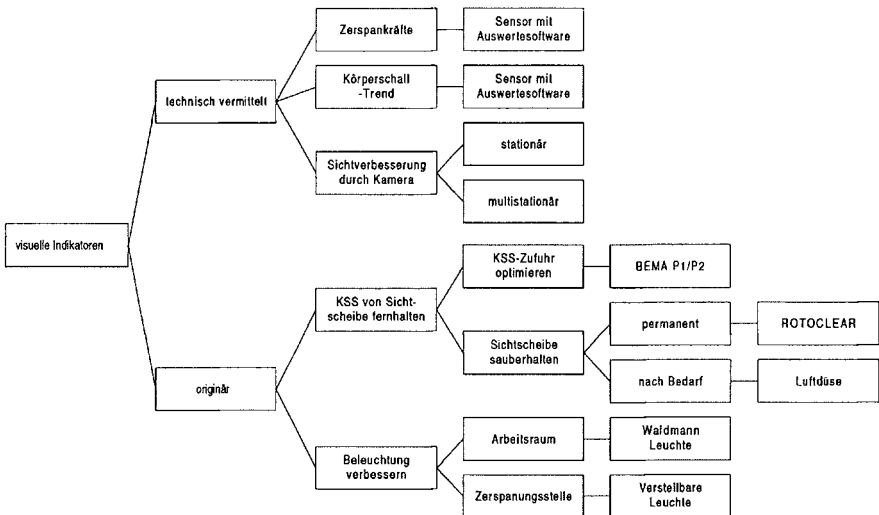
- Die räumliche Entfernung zur Zerspanungsstelle ist zu groß, da Kapselungen ausgehend von den Abmaßen der maximal zu bearbeitenden Werkstücke dimensioniert werden und dadurch in der betrieblichen Praxis sehr groß erscheinen.

- Kühlschmiermittel wird beim Drehprozeß oft mit hohem Druck zugeführt und beim Fräsen durch die hohen Umfangsgeschwindigkeiten des Werkzeuges gegen die Sichtscheiben gespritzt.
- Das damit unmittelbar verbundene Erblinden der Scheibe durch den Kühlschmiermittelfilm wird wiederum durch eine oft eingeschränkte Zugänglichkeit zur Reinigung verursacht. Das Verkratzen der Sichtscheiben durch mit dem Kühlschmiermittel transportierte scharfkantige Späne erschwert die Sicht.

Viele der genannten Faktoren können auf den beim Stand der Technik unverzichtbaren Einsatz von Kühlschmiermittel zurückgeführt werden. Die bei einer Befragung gemachte Facharbeiteraussage *"Das Kühlschmiermittel macht den Facharbeiter blind"* kann somit leicht nachvollzogen werden.

Im folgenden werden einige aus dem CeA-Projekt hervorgegangene Lösungen vorgestellt, die am IPK-Berlin, Bereich Planungstechnik, realisiert wurden. Der Bereich Planungstechnik verfolgt auf mehreren Gebieten das Ziel, technische Lösungen für effiziente dezentrale Organisationsstrukturen zu erarbeiten, die qualifizierte Fachkräfte bei ihrer Aufgabenbearbeitung optimal unterstützen. In diesem Rahmen ist auch die Entwicklung von technischen Komponenten für CNC-Werkzeugmaschinen einzuordnen, die qualifizierte Facharbeit in der Werkstatt unterstützen.

Einige Komponenten konnten bereits von Facharbeitern im betrieblichen Praxiseinsatz auf ihre Erfahrungsförderlichkeit getestet werden, andere wurden in Laborversuchen gemeinsam mit Facharbeitern untersucht. In Bild 3.6 sind die entwickelten Komponenten systematisch dargestellt.



**Bild 3.6:** Klassifizierung der entwickelten Komponenten unter dem Aspekt der visuellen Indikatoren

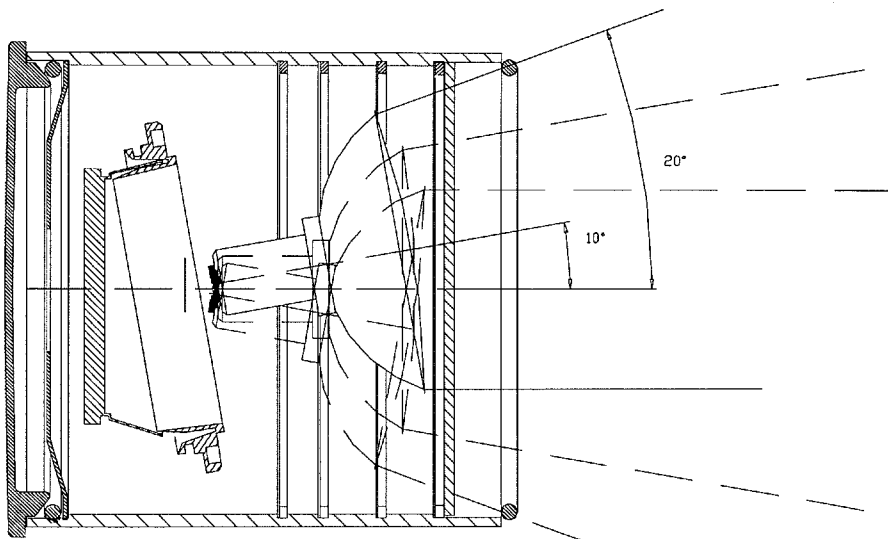
### **(1) Sichtverbesserung durch Beleuchtung**

Die Ausleuchtung des Arbeitsraumes von Werkzeugmaschinen bzw. die gezielte Beleuchtung der Zerspanungsstelle stellt einen häufig vernachlässigten Bereich beim Einsatz von modernen Werkzeugmaschinen dar. War z.B. eine manuell verstellbare Arbeitsleuchte an konventionellen Drehmaschinen eine Selbstverständlichkeit, so ist dies an CNC-gesteuerten Maschinen eine Seltenheit. Hier zeigt sich u.a. das mit moderner Steuerungstechnik einhergegangene Verständnis der automatischen Maschine. Darin wird vorausgesetzt, daß ein Eingreifen des Werkers nur in Ausnahmefällen erforderlich ist. Eine angemessene Beleuchtung des Arbeitsraumes hat auf Nutzerseite nicht nur den Effekt höherer Sicherheit, sondern erleichtert dem Nutzer auch die Möglichkeit, schnell und effektiv auf sich anbahnende Störungen zu reagieren.

Die Beleuchtung des Arbeitsraumes unterscheidet sich bei den Bearbeitungsverfahren Drehen und Fräsen wesentlich. Beim Drehen ist die gute allgemeine Ausleuchtung des Arbeitsraumes für die Beurteilung der Oberflächengüte des Werkstückes, der Spanentwicklung (Form und Farbe) sowie die Erfassung sich anbahnender Kollisionen im Arbeitsraum von wesentlicher Bedeutung. Der Einsatz stärkerer Leuchten, die trotz ihrer unvermeidbaren Verschmutzung einen genügend großen Lichtstrom aussenden, ist hier zwingend geboten. Um Direktblendung zu vermeiden, sollten die Leuchten den Arbeitsraum in Blickrichtung beleuchten. Dies wird aufgrund einer aufwendigeren Konstruktion und Montage derzeit leider nicht praktiziert.

Beim Fräsen ist im Gegensatz hierzu die gezielte Beleuchtung der Zerspanungsstelle von großer Bedeutung. Die Lösung wird durch die häufige räumliche Veränderung der Zerspanungsstelle während der Fräsbearbeitung zusätzlich erschwert. Dies ist immer dann der Fall, sobald mindestens eine Achse der Werkzeugmaschine die Werkzeugmaschinenspindel bewegt. Das gezielte Beleuchten der Zerspanungssituation ermöglicht neben der besseren Sicht auf die Zerspanungsstelle die Reduzierung bzw. Vermeidung störender Reflexionen. Eine von außen und insbesondere während der Bearbeitung positionierbare, punktförmig strahlende Arbeitsraumleuchte, die in Kombination mit einer allgemein hellen Arbeitsraumausleuchtung eingesetzt werden kann, stellt eine Lösung zur Unterstützung der Facharbeiter dar. Dabei ist die sicherheitstechnische Forderung zu erfüllen, daß während der Bearbeitung die Arbeitsraumtür geschlossen bleibt. Die konstruktive Ausarbeitung der Lösung ist in Bild 3.7 dargestellt.





**Bild 3.7:** Verstellbare Arbeitsraumleuchte für das Fräsen

Die realisierte verstellbare Arbeitsraumleuchte baut auf einer Grundleuchte der Firma Waldmann auf. Mit dieser Grundkonzeption kann davon ausgegangen werden, daß die wesentlichen sicherheitstechnischen Aspekte erfüllt sind. Ein in die Leuchte integrierter Verstellantrieb, der normalerweise in elektrisch verstellbaren Außenspiegeln von Personenkraftwagen Verwendung findet, sichert die Industrietauglichkeit und notwendige Langlebigkeit. Die Steuereinheit konnte ebenfalls aus dem Automobilbau übernommen werden. In einem noch anstehenden Praxisversuch werden der Nutzen für den Facharbeiter evaluiert und insbesondere die Kosten/Nutzen-Relation untersucht. In der betrieblichen Praxis kann hier von einer sehr großen Zurückhaltung gesprochen werden, da nach Befragungen selbst bei Werkzeugmaschinen im Wert von mehreren hunderttausend Mark, Investitionen von einigen hundert Mark für einen optimierten Leuchteneinsatz normalerweise nicht getätigt werden. Diese Zurückhaltung ist insbesondere dort unverständlich, wo der Wert der zu fertigenden Werkstücke die zusätzlichen Beleuchtungskosten um ein Vielfaches übersteigt.

## **(2) Sichtverbesserung durch Luftvorhang**

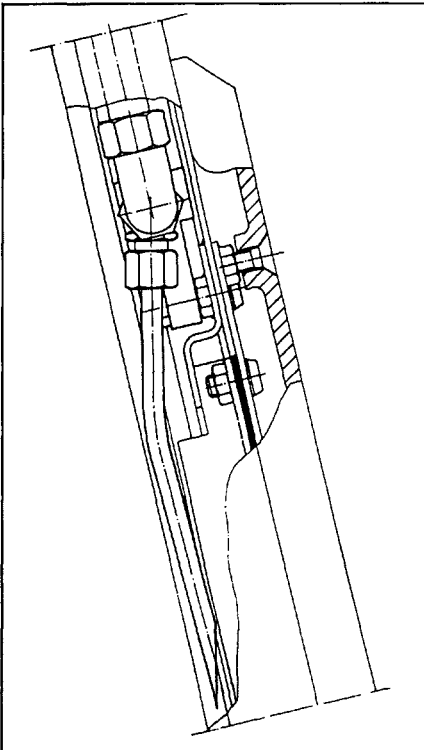
Die Sicht in den Arbeitsraum kann prinzipiell auch dadurch verbessert werden, daß die Sichtscheibe von Kühlschmiermitteln freigehalten wird. Dazu sind verschiedene Lösungen denkbar. Eine einfache Möglichkeit besteht darin, das in sehr vielen Werkstätten vorhandene Druckluftsystem zu nutzen, um damit die Sichtscheibe vom Arbeitsraum her freizuhalten. Durch eine spezielle Düse wird die Druckluft auf die Scheibe geblasen, um somit das auftreffende Kühlschmiermittel partiell seitlich abzudrängen. Es ent-

steht in Abhängigkeit vom vorhandenen Luftdruck, der Größe und dem Abstand der Düse von der Scheibe ein mehr oder minder großer kühl-schmiermittelfreier Ausschnitt auf der Sichtscheibe, der einen klaren Einblick in den Arbeitsraum zuläßt.

Problematisch dabei sind die Verwirbelungsgeräusche der austretenden Luft, die relativ laut sein können. Weiterhin ist der hohe Preis von Druckluft zu berücksichtigen, der einen dauerhaften Betrieb dieser Komponente unwirtschaftlich erscheinen läßt. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, daß die Komponente zwar einfach umgesetzt werden kann, jedoch nur für einen sporadischen Einsatz geeignet ist. Dies ist z.B. in der Serienproduktion denkbar, wo nur ab und zu der Prozeß durch Inaugenscheinnahme beurteilt werden soll.

Eine Installation eines sogenannten Luftvorhangs wurde bei der Firma E.C.H. Will von Facharbeitern in Eigeninitiative umgesetzt. Es kommen hier drei Düsen zum Einsatz, die nicht nur die freigeblasene Fläche vergrößern, sondern durch die Druckverteilung auch eine geringere Geräuschbelastung verursachen.

Bei der Firma Heidelberger Druckmaschinen, Werk Brandenburg, wird ein von der Traub AG realisierter Luftvorhang (Bild 3.8) eingesetzt, der ebenfalls auf Facharbeiteranregung zurückzuführen ist.



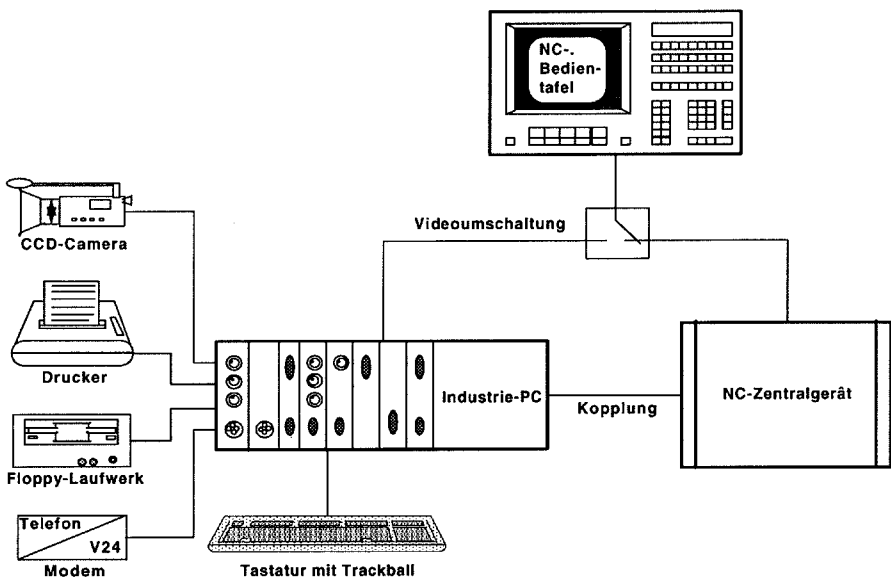
**Bild 3.8:** Luftvorhang (Traub AG)

### (3) Sichtverbesserung durch Kameraeinsatz

Die Sichtverbesserung durch den Einsatz von Videokameras erscheint unter zwei Aspekten sinnvoll. Einerseits kann beispielsweise beim Drehen der Bearbeitungsvorgang aus Positionen beobachtet werden, die für das menschliche Auge nur schwer oder nicht erreichbar sind, andererseits können bei der Bearbeitung sehr großer Werkstücke unterschiedliche, räumlich weit auseinanderliegende Positionen simultan betrachtet werden, was jedoch den Einsatz mehrerer Kameras voraussetzt.

Im ersten Fall ist eine sehr kleine Kamera erforderlich, da diese im engen Drehmaschinenarbeitsraum nicht stören darf. Weiterhin ist für eine entsprechend starke Beleuchtung zu sorgen, und es muß sichergestellt werden, daß die Linse der Kamera nicht durch auftretendes Kühlschmiermittel verschmutzt bzw. durch auftreffende Späne zerkratzt wird. Der Bearbeitungsvorgang kann dann z.B. aus der Position des Werkzeugrevolvers beobachtet werden, und es können damit auch Innenbearbeitungsvorgänge genauer beurteilt werden.

Im zweiten Fall können beim Bearbeiten extrem großer Werkstücke Situationen, die weit entfernt vom Maschinenführer stattfinden, per Videoübertragung verfügbar gemacht werden (Bild 3.9). Hierdurch können Wege zur Inaugenscheinnahme stark reduziert werden. Umständliches Mitführen der Steuereinheit, die bei großen Maschinen oft ebenfalls sehr groß ausfallen, kann entfallen. Dadurch wird der Facharbeiter bei der Überwachung des Bearbeitungsprozesses unterstützt und überflüssige Wegezeiten können gespart werden.



**Bild 3.9:** Kopplung von Videotechnik mit einer Werkzeugmaschinensteuerung (Dörries-Scharmann)

In japanischen Entwicklungen an einer "human-orientierten CNC-Werkzeugmaschine" wird durch den Einsatz einer CCD-Kamera als Teil eines "Machining Phenomenon Visualizing System" (MPVS) versucht, dem Werker nützliche Informationen über den Bearbeitungsprozeß zugänglich zu machen. In Praxistests mit unterschiedlich qualifizierten Werkern ("unexperienced workers, lathe skilled workers, and NC lathe skilled workers") konnte gezeigt werden, daß das MPVS die Zufriedenheit der Werker unabhängig von der Ausbildungsstufe und der vorhandenen Erfahrung erhöht. Nakazawa schließt daraus, daß die zusätzlich zur Verfügung gestellte Information auch erfahrenen Facharbeitern bisher fehlt (Nakazawa und Sugaya 1992).

#### (4) Rotierende Sichtscheibe

Bei bestimmten Drehbearbeitungen wird von den Facharbeitern eine permanent saubere Sichtscheibe zur Kontrolle des Bearbeitungsprozesses für erforderlich erachtet. Die Firma Autz & Herrmann, Heidelberg, hat das aus der Seeschifffahrt kommende Prinzip der rotierenden Scheibe zuerst auf Fräsmaschinen übertragen und jetzt auch für CNC-Drehmaschinen weiterentwickelt.

Durch die Zentrifugalkräfte auf einer sich schnell drehenden innenliegenden Sichtscheibe werden Späne und Kühlschmiermittel in den Arbeitsraum zurückgeschleudert und können somit die Einsicht nicht verschlechtern. Damit ist eine permanente Sichtkontrolle der Werkstückbearbeitung wesentlich erleichtert.



**Bild 3.10:** ROTO CLEAR 360 (Foto: IPK-Berlin)

Der Hersteller stellte dem CeA-Verbund einen Prototyp des weiterentwickelten ROTOCLEAR 360 (Bild 3.10) für Industrie- und Labortests zur Verfügung. Zusammen mit dem konzipierten verschleißbaren Geräuschschlitz erfolgte eine Testinstallation bei der Firma E.C.H. Will, Hamburg, und darauf im CNC-Zentrum Hamburg, wo der ROTOCLEAR noch heute im Einsatz ist.

Als Ergebnis der bisherigen Versuche und des laufenden Einsatzes ist festzustellen, daß das Wirkprinzip des ROTOCLEAR (rotierende Scheibe) wesentlich verbesserte visuelle Zugänge in den Arbeitsraum und auf den Bearbeitungsprozeß eröffnet. Ein weiterer Vorteil des ROTOCLEAR ist die Möglichkeit zur schnellen und einfachen Reinigung der Scheibeninnenseiten durch Öffnen des ROTOCLEAR. Die geringe Sichtfläche verringert allerdings diese wesentliche Verbesserung und begrenzt die Einsatzbreite des ROTOCLEAR auf Werkstücke kleiner und mittlerer Größe. Die auf die Arbeitsraumtür hoch aufgebaute Ausführung des ROTOCLEAR 360 erweckt weiterhin den Eindruck eines hinderlichen Zusatzaggregats. Hier sehen wir insbesondere bei der Ausführung des Antriebs noch Verbesserungsmöglichkeiten.

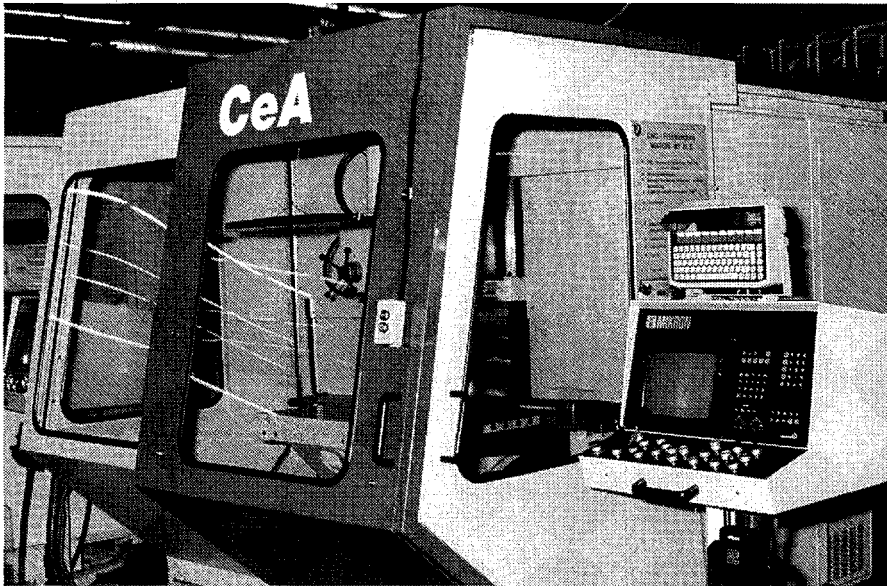
Ein zweiter Prototyp des ROTOCLEAR wird seit Juni 1991 bei der Firma BOSCH in Homburg im Zwei-Schichtbetrieb bei der Hochgeschwindigkeitsdrehbearbeitung eingesetzt. Die dort befragten Facharbeiter stellten insbesondere die verbesserten Einsichtmöglichkeiten bei Hochgeschwindigkeitsbearbeitung heraus, wobei das Kühlschmiermittel der Wirkstelle mit etwa 60 bar zugeführt wird und ein dichter Kühlschmiermittelnebel entsteht. Die Facharbeiter können bei Einsatz des ROTOCLEAR zumindest die Spanentwicklung und die Verfahrswege der kostenintensiven Spezialwerkzeuge (Wert zwischen DM 800,- und DM 1.500,-) kontrollieren. Die psychische Belastungssituation bei der "Blindbearbeitung" konnte so wesentlich reduziert werden, wodurch die Voraussetzungen für verantwortungsvolle und qualitätsbewußte Arbeit ebenfalls verbessert wurden.

### **(5) Verschiebbare Spritzschuttscheibe**

Bei CNC-Fräsmaschinen wird die visuelle Wahrnehmbarkeit des Bearbeitungsprozesses in ähnlicher Weise beeinträchtigt wie an CNC-Drehmaschinen. Besonders während des Einfahrens des NC-Programms ist eine gute Sicht auf das Werkstück und das Werkzeug von großer Bedeutung. Aus dem häufigen Perspektivenwechsel beim Einfahren ergeben sich besondere Anforderungen an die Größe der gegen spritzendes Kühlschmiermittel zu schützenden Fensterfläche.

In Zusammenarbeit mit der Firma Mikron AG, Biel, wurde eine "verschiebbare Spritzschuttscheibe" prototypisch entwickelt, die seit November 1993 bei der BMW AG, München, getestet wird (Bild 3.11).





**Bild 3.11:** Verschiebbare Spritzschuttscheibe (Foto: IPK-Berlin)

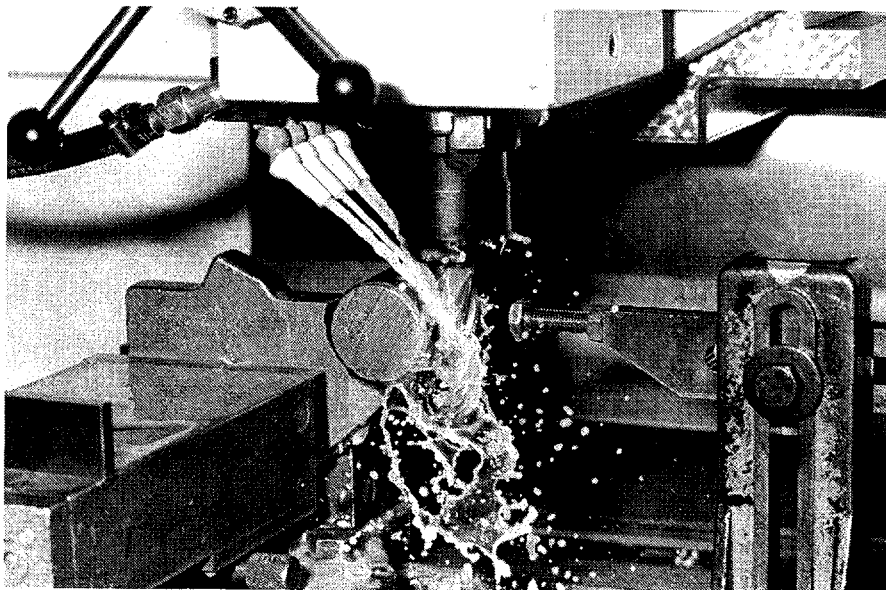
Mit Hilfe der verschiebbaren Spritzschuttscheibe, die während des Bearbeitungsprozesses das Sichtfenster vor Spänen und Kühlschmiermittel schützt und beim Einfahren des NC-Programms verschoben werden kann, soll sichergestellt werden, daß der Maschinenführer eine optimale Sicht auf das Werkstück und das Werkzeug während des Einfahrvorgangs hat. Im Vordergrund der Entwicklung stand die Realisierung einer einfach zu handhabenden Komponente, die das Verschieben der Spritzschuttscheibe ohne großen Kraftaufwand gestattet. Nach einer genauen Analyse der Situation wurde eine pneumatische Lösung ausgewählt und prototypisch umgesetzt. Ein Druckluftzylinder hebt und senkt die Spritzschuttscheibe nach Betätigen eines an der Maschinentür angebrachten Schalters. Die Größe der Sichtscheibe wurde nach anthropometrischen Gesichtspunkten dimensioniert. Die aufgrund der vorhandenen Tür eingeschränkte Höhe der Scheibe ist so gewählt, daß Facharbeiter mit Körpergrößen im Bereich von 160 cm bis 190 cm beim Einfahren einen freien Blick in den Arbeitsraum haben. Kleinere oder größere Personen werden durch die Komponente nicht behindert, aber können die Vorteile nicht nutzen. Mit diesem Größenbereich werden jedoch 90 Prozent der Facharbeiter berücksichtigt.

#### **(6) Gezielter Kühlschmiermitteleinsatz**

Die Komponente BEMA P1/P2 (Bild 3.12) der Firma Bernd & Martin Augenstein Sondermaschinenbau, Keltern-Ellmendingen, setzt zur Minde-



zung des umherspritzenden Kühlschmiermittels bei der gezielten Zufuhr zur Wirkstelle an.



**Bild 3.12:** Gezieltes Kühlen des Werkzeuges an einer nicht direkt zugänglichen Position mit BEMA P1 (Foto: IPK-Berlin)

Aus der praktischen Erfahrung der beiden Entwickler des Kühlschmiermittelsystems P1/P2 treten beim Fräsen Kühlprobleme dadurch auf, daß die verfügbaren ein bis zwei Kühlschmiermittelschläuche, die von Hand auf das arbeitende Werkstück gerichtet werden, nach einiger Zeit die gewünschte bzw. optimierte Position verlassen. Dies hat verschiedene Ursachen:

- Durch die auftretenden Vibrationen an der Maschine lösen sich die Klemmungen am Kühlschmiermittelschlauch kurzzeitig, was zu einer veränderten Position führt.
- Die entstehenden Fließspäne, die durch das sich drehende Werkzeug mit hoher Geschwindigkeit bewegt werden, schlagen die Kühlschmiermittelschläuche zur Seite.
- Beim Verfahren des Werkstückes kollidieren Spannvorrichtungen häufig mit der möglichst nah an der Zerspanungsstelle mündenden Kühlschmiermittelzufuhr.

Im November 1992 wurde das Kühlschmiermittelsystem BEMA P1 bei der BMW AG, München, am Spindelkopf einer CNC-Fräsmaschine installiert. Die Installation ist einfach und kann in kurzer Zeit von den Facharbeitern selbst durchgeführt werden.

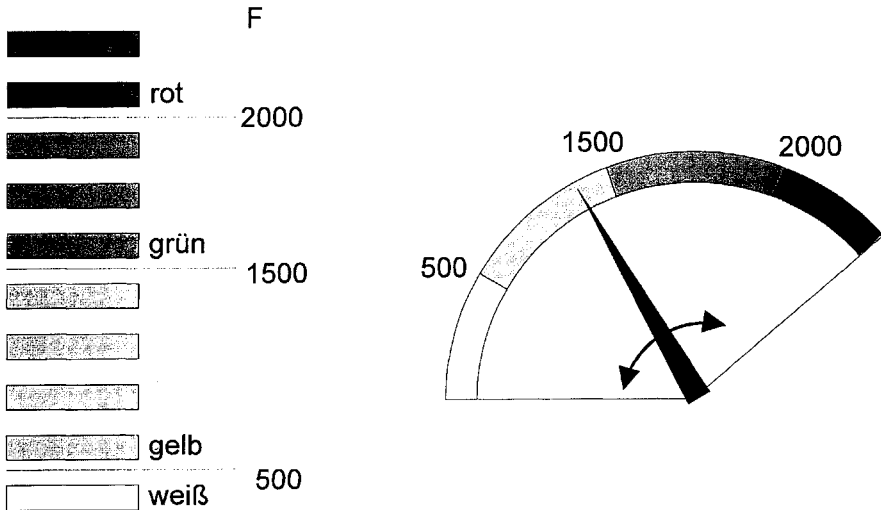
Die Ergebnisse des einjährigen Langzeitversuchs (vgl. Carbon 1993) zeigen deutlich, daß diese Komponente von den Facharbeiter als sehr nützlich beurteilt wird. So kann die Positionierung der Kühlschmiermittelzufuhr nach einem Werkzeugwechsel nicht mehr vergessen werden. Mit der Möglichkeit zur Nachpositionierung der Kühlschmiermittelzufuhr sind die früher auftretenden Zweifel, ob sich ein Anhalten der Maschine zur Positionierung des Kühlschmiermittelschlauches lohnt oder nicht, nun ausgeräumt worden. Von den befragten Facharbeitern wird der Hauptvorteil des BEMA P1 in der Optimierung der Kühlschmiermittelzufuhr während laufender Bearbeitung gesehen. Dadurch entfallen auch die häufigen Unterbrechungen der Bearbeitung durch Öffnen der Arbeitsraumtür und Nachjustieren der Kühlschmiermittelschläuche. Somit werden unproduktive Nebenzeiten reduziert. Unter dem Gesichtspunkt erfahrungsgeleiteter Arbeit ist hier besonders die Vermeidung von Unterbrechungen im zielgerichteten Arbeitshandeln hervorzuheben. Die Prozeßoptimierung kann durch den Einsatz des Systems in einem aktiven, direkten Eingreifen erfolgen, ohne die Ausführung störender Nebenhandlungen (Maschine aus - Tür auf - Nachjustierung - Tür zu - Maschine Start - usw.). Zusätzlich wird der von den Facharbeitern als störend empfundene und zum Teil auch hautreizende Kontakt mit Kühlschmiermittel vermindert. Durch das zeitweise Wegschwenken des Kühlschmiermittel-Strahls wird auch die Überwachung der Werkstückbearbeitung unterstützt, indem die kurzzeitige Kontrolle der gefertigten Werkstückqualität (Oberfläche) möglich ist. Eine Verminderung der benötigten Kühlschmiermittelmenge konnte in dem Langzeitversuch nicht festgestellt werden.

### **(7) Visuelle Darstellung von Zerspanungskräfte beim Drehen**

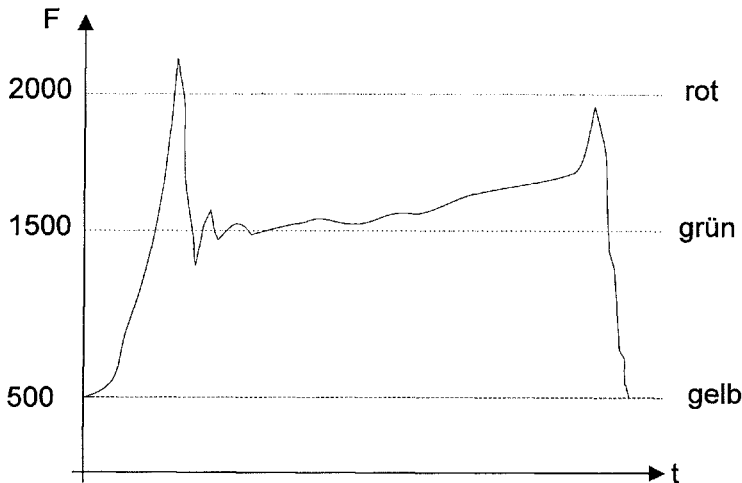
Im Rahmen der Entwicklung dieses Funktionsbausteins wurde zunächst die gemessene Vorschubkraft on-line auf einem Bildschirm dargestellt. Diese Möglichkeit der visuellen Darstellung von Kräften oder von abgegebener Maschinenleistung ist dem Facharbeiter an sich nicht neu. Viele gängige Werkzeugmaschinensteuerungen haben diese Option bereits in ihr Konzept integriert. In der Regel greift der Facharbeiter zu diesem Hilfsmittel, wenn ihm keine andere Möglichkeit zur Prozeßbeurteilung mehr bleibt, wie dies z.B. bei Innenbearbeitungen oder Bohren mit großen Werkzeugdurchmessern der Fall ist. Hier wird neben der Sichtbehinderung auch das Bearbeitungsgeräusch durch das Werkstück selbst gedämmt. Es kann sogar zum Bruch der Schneidplatten kommen, ohne daß der Facharbeiter dies unmittelbar wahrnehmen kann. Um den Bearbeitungsprozeß dennoch beurteilen und regulieren zu können, wird häufig die Leistungsmessung der Vorschubantriebe als Orientierung benutzt. Beim Bruch der Schneidplatten steigt die abgegebene Leistung an den Vorschubantrieben an. Je nach Maschinen- und Steuerungstyp sind die Genauigkeit und die Darstellung dieser Leistungsabgabemessung unterschiedlich. Die Tauglichkeit dieses Verfahrens ist bei allen Steuerungen jedoch gleich ungenügend, da häufig bereits ein Schaden entstanden ist, bevor die Leistungsmessung überhaupt anspricht. Dies liegt in der langen "Meßkette" begründet, denn die Änderungen in der Vorschubkraft

bevor die Leistungsmessung überhaupt anspricht. Dies liegt in der langen "Meßkette" begründet, denn die Änderungen in der Vorschubkraft müssen die Reibungsverluste der gesamten Antriebseinheiten deutlich übersteigen.

Aus diesem Grund wurde dem Facharbeiter eine völlig neue Form der visuellen Darstellung der echten Vorschubkräfte angeboten. Optional kann man zwischen den drei unterschiedlichen Darstellungen wählen, wie sie in Bild 3.13 dargestellt sind.



**Darstellung 1**



**Darstellung 2**

**Darstellung 3**

**Bild 3.13:** Visuelle Darstellungsarten der Vorschubkraft

Dabei handelt es sich bei der ersten Darstellungsart um eine vertikale Anzeige in Form eines Balkens. Die Höhe des dargestellten Balkens ist proportional zu der gemessenen Kraft. Je größer die Kraft desto größer wird der Balken. Zusätzlich wird die Visualisierung der Kraft durch farbige Elemente unterstützt. Die größte erwartete Kraft kann in vier beliebig wählbare Bereiche aufgeteilt werden. Jedem Bereich wird eine entsprechende Farbe zugewiesen. So ist es leicht möglich, schnell die Größenordnung der tatsächlich anliegenden und gemessenen Kraft zu erkennen. Es ist an dieser Stelle anzumerken, daß für die Facharbeiter die absolute Kraftanzeige nur eine geringe Bedeutung hat. Es geht vielmehr um relative Größen, die der Facharbeiter aufgrund seiner Erfahrung miteinander vergleichen kann.

Die zweite Darstellung zeigt einen Zeiger, der ähnlich einem Tachometer die jeweils gemessene Kraft on-line anzeigt. Auch hier wird das Ablesen durch die individuelle Einstellung der vier Kraftbereiche und deren farbige Markierungen unterstützt. Diese Variante wurde von den Facharbeitern übereinstimmend als die angenehmste empfunden und dementsprechend am häufigsten ausgewählt.

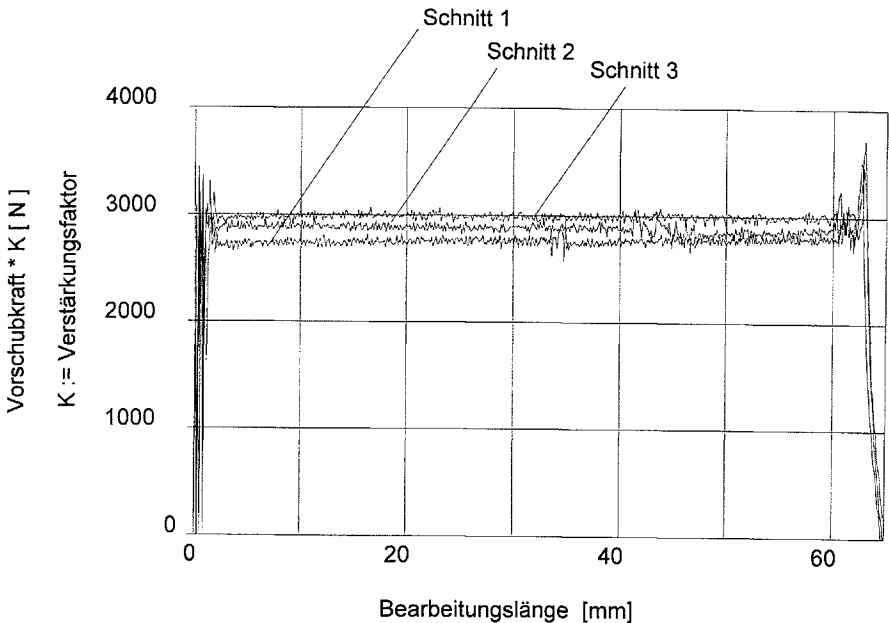
Die dritte Darstellung entspricht im wesentlichen der Wiedergabe eines Oszilloskops. Die Einteilung der Kraftbereiche wurde hier durch horizontale Markierungslinien erreicht. Der dargestellte Amplitudenverlauf entspricht dabei der gemessenen Kraft.

Neben der reinen Anzeige des Kraftverlaufes können jederzeit durch Drücken einer Funktionstaste sogenannte "Merker" gesetzt werden. Diese dienen der Orientierung des Facharbeiters bei der Nachbereitung bzw. späteren Kraftverlaufsanalyse. Die gemessenen Werte werden dazu auf 50 Hz gemittelt, mitprotokolliert und in Dateien gespeichert. Die Mittelung hat zwei entscheidende Gründe. Erstens soll die Bildschirmdarstellung nicht durch unnötiges Flimmern der vielen Meßdaten verwirren, und zweitens müssen die Messungen noch für nachträgliche Analysen handhabbar bleiben. Es wird jeweils über eine Zeit von ca. 20-30 Sekunden gemessen, und die Werte werden aufgenommen. Bei der Drehbearbeitung reicht diese Meßdauer für durchschnittliche Bearbeitungsfolgen absolut aus. Jeder Meßvorgang mußte in der ersten prototypischen Lösung explizit durch den Facharbeiter gestartet werden. Es ist jedoch auch ein automatisches Triggern des Meßprozesses mit dem NC-Programm möglich, soweit die CNC-Steuerung die Ausgabe eines Signals auf eine Schnittstelle (z.B. RS 232) mittels Maschinenbefehl zuläßt.

In einer der Bearbeitung nachgelagerten Analyse kann man den Verlauf der Vorschubkraft in den einzelnen Schnitten noch einmal darstellen. Als Darstellungsart ist hier der Verlauf der Kraft als Kurve über der Zeit gewählt worden, da es um den Gesamtablauf geht, den der Facharbeiter in seiner Tendenz bewerten möchte. Die während der Bearbeitung gesetzten Merker werden hierbei als senkrechte Linien an den entsprechenden Zeitpunkten dargestellt. Diese Option erleichtert dem Facharbeiter die Erinnerung an die einzelnen Bearbeitungsschritte und liefert erste Hinweise auf die Güte der Bearbeitung. Dieser Funktionsbaustein stellt somit ein wichtiges Element in der Erfahrungsbildung dar, da unterschiedliche Ereignisse während der Bearbeitung nachträglich analysiert werden können. Zu die-

sem Zweck ist auch ein Ausdrucken der entsprechenden Kraftverläufe möglich.

Da die heutigen CNC-Steuerungen kaum Zugriffe auf aktuell eingestellte Prozeßparameter haben, mußte die Darstellung des Kraftverlaufs über der Meßzeit aufgetragen werden. Es wäre bei einer zugänglichen CNC-Steuerung jedoch auch möglich, die entscheidenden Parameter abzufragen, um den Kraftverlauf über dem zurückgelegten Weg aufzuzeichnen. Dazu müßten vor jedem Meßvorgang die Zustelltiefe (als Maß für den Restdurchmesser), die Vorschubgeschwindigkeit und die Spindeldrehzahl abgefragt und als Eingangsgröße für die Darstellung verarbeitet werden.



**Bild 3.14:** Vorschubkraftverlauf der aufeinanderfolgenden Zustellungen

Bei der Softwareentwicklung wurde besonderer Wert auf eine ergonomisch gestaltete Benutzungsoberfläche und eine leichte Handhabung gelegt. So können durch wenige Tastendrucke das Meßprogramm gestartet oder die Parameter neu definiert werden. Als Hardware dient ein Standard-PC mit einer handelsüblichen Analog-Digital-Wandlerkarte (A/D-Wandler), mit der die Meßdaten aufgenommen und in beschriebener Weise weiterverarbeitet werden können. In der Software wurden ebenfalls unterschiedliche Eingangssignalstärken berücksichtigt, die aus unterschiedlichen Kraftmeßverfahren resultieren können. So wurden in den Laborversuchen sowohl ein Kraftmeßmeißel mit einem 3-Komponenten-Kraftsensor mit entsprechendem Ladungsverstärker eingesetzt als auch

eine nachträglich adaptierbare Kraftmeßvorrichtungen durch Messen der Verformung mittels Dehnungsmeßstreifen (DMS). Die entsprechenden Ausgangssignale der Ladungsverstärker oder Spannungsverstärker der DMS sind in ihrer absoluten Größe sehr unterschiedlich, lieferten in den Versuchen jedoch in ihrem relativen Verlauf annähernd gleiche Ergebnisse.

### **(8) Visuelle Darstellung von Körperschallsignalen beim Fräsen**

Die grundsätzliche Bedeutung der akustischen Indikatoren, zu denen auch der Körperschall zählt, für die Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit wird im folgenden Kapitel 3.2.2 ausführlich erläutert. Zum näheren Verständnis der prototypischen Komponentenentwicklung soll hier nur eine kurze Erläuterung zum Körperschall gegeben werden.

Körperschall entsteht an Werkzeugmaschinen primär durch die Wechselkräfte des Bearbeitungsprozesses. Körperschall ist direkt nur über die Schwingungen, z.B. durch Handauflegen, erfahrbar. Über mechanische Bauteilschwingungen kann es jedoch zur indirekten Erzeugung von Luftschall kommen.

Der direkt am Zerspanungsort entstehende Luftschall ist an konventionellen Dreh- und Fräsmaschinen ein sehr wichtiger akustischer Indikator zur Beurteilung des Bearbeitungsprozesses. Verbesserungen der dynamischen Steifigkeit der Maschinenelemente und insbesondere die Teil- oder Vollkapselung von CNC-gesteuerten Dreh- und Fräsmaschinen führten aus heutiger Sicht nur zu einer einseitigen Optimierung. Bei höheren Schnittgeschwindigkeiten konnten zwar zugleich die Arbeitsbedingungen durch Lärminderung verbessert werden, aber andererseits wurde dem verantwortlichen Maschinenführer dadurch eine wichtige Informationsgrundlage für sein Arbeitshandeln entzogen.

Die Beherrschung des Zerspanungsprozesses ist eine zentrale fertigungstechnische Forschungs- und Entwicklungsaufgabe, wobei die Überwachung und Diagnose des Bearbeitungsprozesses in den letzten Jahren bei steigenden Bearbeitungsgeschwindigkeiten zunehmend an Bedeutung gewonnen hat. Die Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen konzentrieren sich dabei primär auf die Erhöhung der Zuverlässigkeit aller Maschinenkomponenten zur Steigerung des Automatisierungsgrades als Voraussetzung für den menschenarmen Betrieb unter Gewährleistung der geforderten Fertigungsqualitäten (Spur und Stelzer 1992; Spur 1991; Weck 1989).

Grundlage der Überwachung und Optimierung des technologischen Prozesses ist die Erfassung und Verarbeitung von Prozeßkenngrößen. Dazu werden neben den in der Werkzeugmaschine schon vorhandenen Informationen (z.B. Motorstrom) vermehrt zusätzlich Sensoren entwickelt und eingesetzt, um verschiedene Prozeßkenngrößen zu ermitteln. Zu diesen zentralen Prozeßkenngrößen zählen Kräfte (z.B. Zerspanungskräfte, Spannkkräfte) und Schwingungen (z.B. Körperschall, Luftschall) (Spur und Stelzer 1992).



Durch den Einsatz von Sensoren, wie z.B. Beschleunigungsaufnehmern, können diese Körperschallschwingungen erfaßt und für die rechnerische Verarbeitung bzw. eine Ausgabe über Lautsprecher, Kopfhörer und/oder Monitor genutzt werden.

Die während der empirischen Untersuchungen des CeA-Forschungsverbundes von den befragten Facharbeitern als wichtig eingeschätzten Bearbeitungsgeräusche sind mit dem entstehenden Körperschall eng verknüpft. Somit eröffneten die Erfassung und Verarbeitung von Körperschallsignalen analoge Wahrnehmungsmöglichkeiten für Facharbeiter an gekapselten CNC-Werkzeugmaschinen zur Substitution bisher gelernter Wahrnehmungsroutinen. Damit können die Facharbeiter an CNC-Werkzeugmaschinen bei der Optimierung und Überwachung des Bearbeitungsprozesses wieder an ein während der Berufsausübung langjährig erworbenes Erfahrungswissen ("gutes" versus "schlechtes" Bearbeitungsgeräusch) anknüpfen. Ein wichtiger Prozeßindikator steht somit den Facharbeitern an gekapselten CNC-Werkzeugmaschinen als Informationsquelle für den Zerspanungsprozeß wieder zur Verfügung.

Die Transformation der analogen Körperschallsignale in digitale Daten eröffnet sogar weiterführende Möglichkeiten der technischen Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit an CNC-Werkzeugmaschinen. So ist das menschliche Gehör zwar in der Lage, einen falschen Ton bzw. ein falsches Bearbeitungsgeräusch sofort zu identifizieren, versagt aber bei der Wahrnehmung von langsamen und stetigen Veränderungen der Lautstärke und Frequenz, die z.B. bei zunehmendem Werkzeugverschleiß auftreten.

Aufgrund ermittelter Zusammenhänge zwischen Werkzeugverschleiß, Werkzeugbruch und Körperschallsignalen (Schehl 1990) besteht daher die Möglichkeit, durch die Aufzeichnung von Körperschallverläufen (Trendverlauf) den Werker bei der Beurteilung des Bearbeitungsprozesses über einen längeren Zeitraum zu unterstützen.

Die Mehrzahl der bisher am Markt angebotenen Werkzeugüberwachungssysteme, die Körperschallsignale nutzen, ist primär für die weitgehend automatische Fertigung konzipiert und sieht teilweise den aktiven Eingriff des Maschinenführers zur Prozeßoptimierung nicht mehr vor. Die vorhandenen Auswertemöglichkeiten stellen bisher noch keine konsequent entwickelte Nutzerunterstützung dar. Hier liegen sicherlich noch einige Optimierungspotentiale zur Verbesserung der Unterstützung der Facharbeiter. Eine nach arbeitsorientierten Gestaltungskriterien vergleichende Übersicht über Werkzeugüberwachungssysteme, die z.T. andere Prozeßkenngrößen (z.B. Kraft, Dehnung, Strom, Drehzahl) nutzen, findet sich in Quark und Schüpbach 1991.

Das IPK-Berlin hat ein PC-basiertes Softwareprogramm zur on-line-Erfassung und Verarbeitung sowie zur graphischen Darstellung von Körperschallsignalen beim Fräsen entwickelt und im Laborversuch durch Facharbeiter testen lassen. Das Ziel des Laborversuchs war die Beurteilung des Prototypen und der angebotenen Darstellungsformen auf ihre Erfahrungsförderlichkeit.

Allgemein wurde von seiten der Facharbeiter die zunehmende Konzentration der Informationsaufnahme auf den visuellen Bereich kritisiert: *"Ich muß in den Bearbeitungsraum sehen, auf die Steuerung, den Restver-*

*fahrweg und kann mir nicht vorstellen, noch eine Anzeige zu beobachten."*

Im Ergebnis wurde aber die vergleichende Darstellung des Körperschallverlaufes pro Werkzeug von den Facharbeitern als sinnvolle Unterstützung beurteilt. Die angebotene Echtzeitdarstellung wurde von ihnen verworfen, weil das menschliche Gehör wesentlich genauer und differenzierter ist und ein schnelleres Reagieren ermöglicht.

### 3.2.2 Akustische Indikatoren

(Martin Carbon, FhG-IPK; Karin Joiko, Evelyn Linke und Gerd Kullmann, AIW Dresden; Robert Mertens, WZL Aachen sowie Roland Ruppel, PTW Darmstadt)

Die vorgelagerten Feldstudien ergaben, daß eine weitere Hauptorientierung von Facharbeitern an CNC-Werkzeugmaschinen auf der akustischen Wahrnehmungsform beruht. Hierbei kann eine Unterscheidung nach technisch vermittelten sowie originären Indikatoren erfolgen. Im folgenden Kapitel wird anhand verschiedener Beispiele für die Bearbeitungsverfahren Drehen und Fräsen gezeigt, wie durch den Einsatz technischer Komponenten eine geeignete - sowohl originäre als auch technisch vermittelte - Signalerfassung und -darstellung der akustischen Indikatoren die erfahrungsgeleitete Arbeit an CNC-Werkzeugmaschinen unterstützen kann.

#### (1) Grundlagen der Schallwahrnehmung

Unter Schall werden Schwingungen in gasförmigen, flüssigen oder festen Stoffen verstanden. Schallschwingungen in Luft können über das Hörorgan des Menschen wahrgenommen werden. Die Wahrnehmung von Schall, das Hören, ermöglicht dem Menschen die für ihn wichtigste Art des Informationsaustausches, die Sprachinformation. Aber auch Summen, Brummen, Knallen, Pfeifen - zahlreiche Geräusche dringen ununterbrochen in das menschliche Ohr, informieren uns über das augenblickliche Geschehen in unserer Umwelt, aber häufig stören und belästigen sie uns auch.

Ob und was wir hören, hängt ab von der Stärke und der Frequenz des Schalles. Unterschieden werden Luft- bzw. Hörschall und Körperschall. Der Luftschall ist der Schall, der vom Menschen über das Ohr wahrgenommen wird. Körperschall sind z.B. von Maschinen verursachte Schwingungen, die im Frequenzbereich des menschlichen Hörens liegen. Davon gehört wird aber nur der an die Luft abgegebene Schall. Physikalisch tritt der Luftschall als Schwankung des atmosphärischen Luftdruckes in Erscheinung. Man nennt diese Schwankungen Schalldruck. Einen sinusförmigen Schalldruckverlauf bezeichnet man als Ton. Jeder Ton ist gekennzeichnet durch seine Amplitude (Maximalwert) und seine Frequenz

(Anzahl der Schwingungen in der Sekunde). Den zeitlichen Verlauf des Schalldruckes eines beliebigen Schallereignisses kann man sich in Komponenten unterschiedlicher reiner Töne zerlegt denken. Solche Zerlegung nennt man Frequenzanalyse des Schalles.

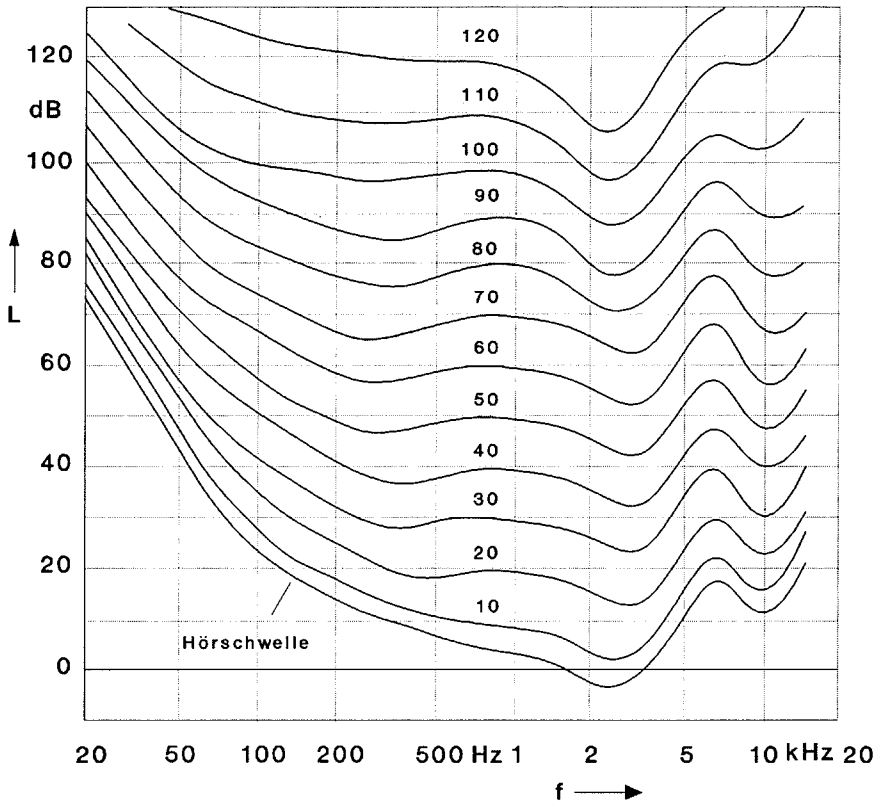
Töne und Tongemische (Geräusche) werden erst ab einer Hörschwelle mit einem Schalldruck von  $20 \mu\text{Pa}$  (bei 1000 Hz) wahrgenommen. Töne mit Frequenzen unter 16 Hz und über 20 kHz können nicht gehört werden. Da sich der hörbare Schall über einen sehr großen Schalldruckbereich erstreckt, wurde ein logarithmisches Maß, der Schalldruckpegel (häufig kurz Schallpegel genannt), eingeführt. Der Schalldruckpegel  $L$  ist definiert durch die Beziehung

$$L = 20 \lg P_{\text{eff}} / P_0 \quad \text{in deziBel (dB)}$$

Dabei sind  $P_{\text{eff}}$  der Effektivwert des Schalldruckes und  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$  ( $20 \mu\text{Pa}$ ) der Bezugswert (Hörschwelle).

Den Schalldruckpegel eines 1000-Hz-Tones, der gleich laut empfunden wird wie ein beliebiger Schall, nennt man die Lautstärke des Schalles. Wie laut ein Ton empfunden wird, die Lautstärke des Tons, hängt von seinem Schallpegel und der Frequenz ab.

Die Kurven gleicher Lautstärke (Bild 3.15) zeigen die Hörschwelle des Menschen und das Verhalten des Gehörs beim Wahrnehmen von Sinustönen im freien Schallfeld bei zweiohrigem (binauralem) Hören. Die Empfindlichkeit ist für tiefe Frequenzen (bis etwa 500 Hz) und für hohe Frequenzen (ab etwa 5000 Hz) geringer als für mittlere Frequenzen. Bei ca. 4000 Hz ist das Ohr am empfindlichsten. Die Frequenzabhängigkeit (Empfindlichkeit) des menschlichen Gehörs wird in Schallpegelmessern mit Bewertungsfiltern nachgebildet. Das gebräuchlichste und nachfolgend angewandte Filter, ist das der A-Bewertung (Kennzeichnung der Schallpegelwerte mit dB(A)).

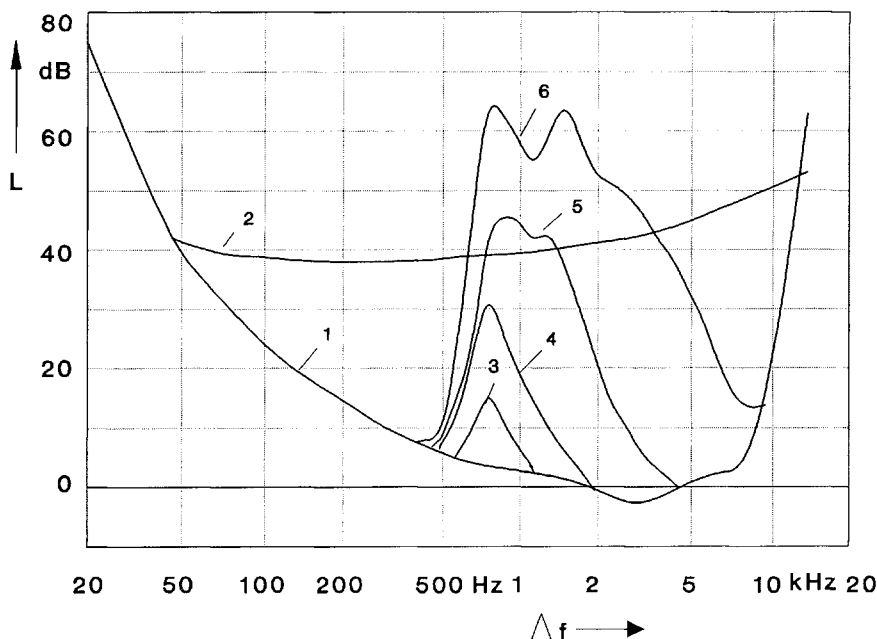


**Bild 3.15:** Kurven gleicher Lautstärke für Sinustöne (nach DIN 45 630)

Außer den Eigenschaften des Ohres im Hinblick auf die Wahrnehmung der Lautstärke von Sinustönen ist für die Signalerkennung und für die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen der sogenannte Verdeckungseffekt wesentlich.

Ein beliebiger Schall kann durch anderen Schall verdeckt, d.h. unhörbar, werden. Untersucht und quantitativ belegt sind diese psycho-physiologischen Erscheinungen, wie bei Erregung des Ohres durch einen Ton bzw. durch ein Schmalbandrauschen die Wahrnehmbarkeit angrenzender Frequenzbereiche beeinträchtigt wird. Ein Schall einer bestimmten Frequenz ist nur hörbar, wenn seine Stärke eine vorgegebene Stärke der bereits vorhandenen Erregung übersteigt. Dieser Effekt wird Verdeckung genannt, die damit verbundene Verschiebung der Hörschwelle Mithörschwelle. Bild 3.16 zeigt ein Beispiel nach Zwicker (zit. in Blutner und Weising 1984) für den Verlauf einer Mithörschwelle für reine Töne bei der Verdeckung durch weißes Rauschen und durch einen 1000-Hz-Ton. Bei breitbandigem (z.B. weißem) Rauschen wird auch ein breiter Bereich des Analyseapparates des Ohres erregt. Damit ergibt sich aufgrund des Ver-

deckungseffektes auch eine breite Hörschwellenverschiebung. Mit Zunahme des Schallpegels breitet sich die Verdeckung stärker auf den Bereich höherer Frequenzen aus. Tieffrequente Geräusche verdecken in stärkerem Maße höherfrequente.



1: Hörschwelle; 2: Mithörschwelle bei weißem Rauschen; 3-6: Mithörschwelle eines 1000-Hz-Tones mit einem Schalldruckpegel von 30, 50, 70 und 90 dB

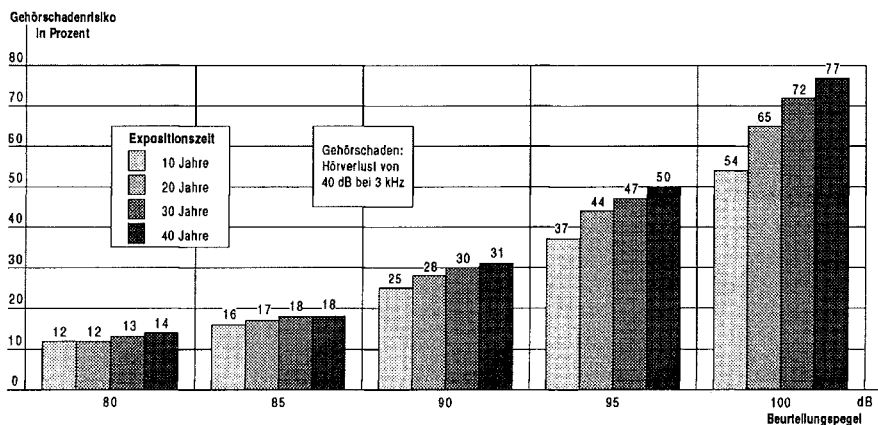
**Bild 3.16:** Mithörschwelle für reine Töne bei Verdeckung durch unterschiedliche Signale nach Zwicker (Legende: 1: Hörschwelle; 2: Mithörschwelle bei weißem Rauschen; 3 - 6: Mithörschwelle eines 1000-Hz-Tones mit einem Schalldruckpegel von 30, 50, 70 und 90 dB)

Diese Verdeckungserscheinungen sind einerseits abhängig von der Art der Geräusche, andererseits von der Art der verdeckten Geräusche.

Durch Lärmeinwirkung können Lärmtraumata oder Lärmschwerhörigkeit auftreten. Die durch Arbeitstätigkeit verursachte Lärmschwerhörigkeit ist meist die Folge langjähriger Einwirkung von Schall hoher Intensitäten während des Arbeitsprozesses. In Abhängigkeit von der Dauer und Intensität der Schalleinwirkung können Schäden im Gehörorgan entstehen, die sich mit zunehmender Belastung summieren und zu einer Beeinträchtigung des Hörvermögens führen. Diese Beeinträchtigung ist durch eine Ver-

schiebung der Hörschwelle nachweisbar. Durch eine einmalige Belastung des Ohres über Minuten oder Stunden mit stationärem Schall hoher Intensitäten kommt es zu einer zeitweiligen Hörschwellenverschiebung (TTS: temporary threshold shift), die nach einer Erholzeit von Sekunden bis zu Tagen vollständig verschwindet. Ständig einwirkende hohe Schallpegel führen zu einem endgültigen Hörausfall, zur dauernden Hörschwellenverschiebung (PTS: permanent threshold shift), hervorgerufen durch irreversible Zerstörung von Teilen des Innenohres.

Die Forschung im Bereich des Lärms in der Arbeitswelt wurde Anfang der 60er Jahre mit Untersuchungen über die schädigende Wirkung des Lärms auf den Menschen (Glorig 1961; Jansen 1962) intensiviert. Aufgrund der alarmierenden Ergebnisse (siehe Bild 3.17) wurden Untersuchungen zum Geräuschverhalten von Getrieben (Hösel 1965; Zumbroich 1964) und kompletter Maschinen (Brey 1981; Melder 1976; Mintrop 1974, Opitz und Melder 1973, Weck 1977, Weck 1979, Weck 1981a) durchgeführt.



**Bild 3.17:** Anteil von lärmschwerhörigen Arbeitnehmern bei unterschiedlichen Belastungshöhen und Expositionszeiten (nach Lazarus)

Unmittelbar verbunden mit diesen grundsätzlichen Geräuschanalysen wurden Maßnahmen zur Geräuschminderung (Brey 1981; Heydt und Schwarz 1976; Matischka 1981; Rohr 1980; Schröder 1978; Weck 1981b) systematisch untersucht. Ein generelles Ergebnis all dieser Analysen war, daß der auf indirektem Weg entstehende Luftschall bei Werkzeugmaschinen dominiert. Seine Entstehung wird nach einer frühen Definition (Lübcke 1956) über die Wirkkette Geräuschanregung, -übertragung und -abstrahlung beschrieben.

Durch die Zunahme des Gesundheitsbewußtseins und den Druck des Marktes zur Einhaltung der zulässigen Grenzwerte sowohl des emittierten als auch des auf den Menschen einwirkenden Schalldruckpegels



(Beurteilungspegel) sahen sich auch die Maschinenhersteller in die Pflicht genommen, die Schallabstrahlung ihrer Maschinen zu senken. Dabei wurden Maßnahmen zur Minimierung der Schallemission getroffen, ohne eine Differenzierung zwischen den einzelnen Schallquellen und deren Informationsgehalt vorzunehmen. So wurde auch das Bearbeitungsgeräusch maximal reduziert.

Diese Entwicklung wird verständlich, wenn man das ursprüngliche Einsatzfeld der CNC-Werkzeugmaschinen betrachtet. Waren sie eigentlich dafür gedacht, einen reibungs- und eingriffslosen Bearbeitungsprozeß zu gewährleisten, wobei dem Werker nur eine passive Beobachterrolle zukam, so geht man heute davon aus, daß der qualifizierte Facharbeiter mit all seinen Erfahrungen und seiner Kompetenz in der Werkstatt gebraucht wird. Sah die herkömmliche Strategie für den im wahrsten Sinne des Wortes zum "Bediener" degradierten Werker keine Eingriffsnotwendigkeit und -möglichkeit in den Bearbeitungsprozeß vor, so geht das Konzept der erfahrungsgeleiteten Arbeit von einem handlungs- und eingriffsorientierten Modell aus. Das bedingt auch eine Veränderung des Lärmschutzkonzeptes. Die Zukunft wird darin gesehen, relevante akustische Informationen, wie sie z.B. gerade das Bearbeitungsgeräusch enthält, dem Facharbeiter wieder nutzbar, d.h. "hörbar", zu machen und andere, für den Prozeß unbedeutende Geräusche, wie z.B. das Hydraulik- und das Motorengeräusch, weiter zu dämmen.

Für die Arbeit mit konventionellen und mit CNC-Werkzeugmaschinen spielen die bei der Bearbeitung entstehenden Geräusche und Schwingungen als Indikatoren über den Prozeßzustand eine große Rolle. Der erfahrene Maschinenführer kann aus ihnen Informationen über das Schwingungsverhalten, den Werkzeugverschleiß, die Auswuchtung des eingespannten Werkstücks beim Drehen, die Materialeigenschaften u.a.m. entnehmen. Es werden sowohl aus dem Körperschall als auch aus dem Luftschall Informationen herausgefiltert, die den Werker bei Abweichung vom erwarteten Geräuschmuster zum Eingriff in den Prozeß veranlassen. Waren die Geräusche an konventionellen Maschinen noch ungehindert wahrnehmbar, so wird an heutigen CNC-Werkzeugmaschinen ein Großteil der relevanten Bearbeitungsgeräusche durch die Kapsel geschluckt bzw. verfälscht.

Während frühere Untersuchungen zu der Feststellung kamen, daß bei hohen Spindeldrehzahlen das Gesamtgeräusch weitgehend vom Getriebe der Maschine beeinflusst wird und das Bearbeitungsgeräusch eine untergeordnete Rolle spielt (Beduhn 1963; Weck 1979; Weck 1981a), zeigen neuere Analysen, daß mit der Einführung von regelbaren Hauptantriebs- und Vorschubmotoren und gleichzeitiger Erhöhung der Zerspanungsleistungen, die durch die Bearbeitung verursachten Geräusche für die Gesamtschalleistung dominant geworden sind (Humpert 1986). Die Geräuschemission der modernen spanenden Werkzeugmaschinen ist überwiegend auf die Anregung durch den Zerspanungsprozesses zurückzuführen. Die übrigen Geräuschquellen und Anregungsmechanismen, wie z.B. der Antriebsmotor und das Getriebe, sind bei heutigen Maschinen zumeist von geringerer Bedeutung.

Nach Kullmann, Pascher und Rentzsch (1992) wurden folgende Schallquellen an Werkzeugmaschinen lokalisiert und hinsichtlich ihres Informationsgehaltes für den Facharbeiter untersucht:

### **Bearbeitungsgeräusch**

Dieses Geräusch stellt einen wichtigen Indikator zur Prozeßverfolgung dar. Die durchgeführten Versuche bestätigen, daß der Facharbeiter aus den Zerspanungsgeräuschen wichtige Informationen für sein Arbeitshandeln entnimmt. Es wird nicht zuletzt als Resultat der Kapselung als zu leise eingestuft.

### **Geräusch des Hauptantriebsmotors**

Im allgemeinen entnimmt der Facharbeiter diesem Geräusch keine spezifischen Informationen über den Zerspanungsprozeß. Bei Anwendung von Mehrmaschinen"bedienung" kommt dem Geräusch des Motors jedoch eine gewisse Bedeutung zu. Es dient hierbei zu einer groben Orientierung, z.B. dem Unterscheiden zwischen Bohren, Plan- oder Längsdrehen. Es ist möglich, anhand des Geräusches des Hauptantriebsmotors die momentane Drehzahl ungefähr abzuleiten und somit im Zusammenhang mit dem Bearbeitungsgeräusch die aktuelle Stelle im Programmablauf zu erkennen. Eine grobe Orientierung kann aber auch teilweise zuverlässiger und schneller durch eine visuelle Kontrolle des Bearbeitungsfortschrittes erreicht werden kann.

### **Hydraulikgeräusch**

Aus dem Hydraulikgeräusch werden keine relevanten Informationen entnommen. Dieses Geräusch überdeckt jedoch das Bearbeitungsgeräusch und wirkt sich behindernd auf die Verfolgung des Prozeßzustandes aus.

### **Verfahrgeräusche des Werkzeugwechslers**

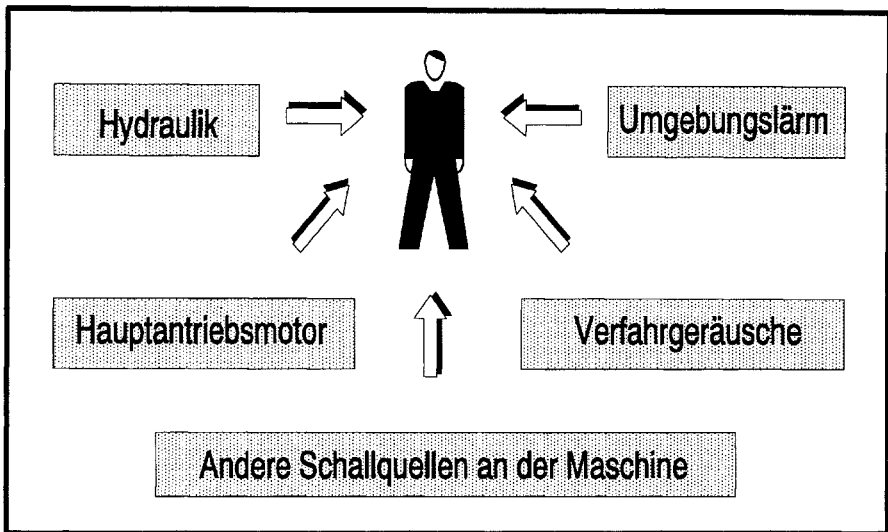
Diese Geräusche ermöglichen dem Werker ebenfalls eine grobe Orientierung im laufenden Programm. Da Verfahrgeräusche nur auftreten, wenn kein Eingriff des Werkzeuges erfolgt, behindern sie nicht die Wahrnehmung des Bearbeitungsgeräusches.

### **Andere Schallquellen**

Zu ihnen zählen z.B. Nebenantriebe, Späneförderer und Verfahrgeräusche des Supports. Diese Geräusche stellen einen geringen Anteil am Gesamtschallpegel dar, bzw. treten zeitlich versetzt zum Bearbeitungsgeräusch auf, so daß deren Wahrnehmbarkeit nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigt wird.

### **Umgebungsärm**

Auf den Werker strömt weiterhin eine umfangreiche Geräuschkulisse aus der Umgebung ein. Sie hat ihren Ursprung an in "Hörweite" aufgestellten Maschinen, Transportmitteln usw. Umgebungsärm kann nicht eliminiert werden, es ist jedoch möglich, durch geeignete Maßnahmen die Beeinträchtigung in Grenzen zu halten.



**Bild 3.18:** Schallquellen an Werkzeugmaschinen

## (2) Untersuchungsmethodik

Ein Schallereignis wird im wesentlichen durch seine Intensität im Zeitablauf und seine Frequenzzusammensetzung gekennzeichnet. Für die Geräuschemission einer Werkzeugmaschine sind der A-bewertete Schalleistungspegel und der arbeitsplatzbezogene Immissionswert (A-Schall-druckpegel) charakteristische Kenngrößen. 1991 und 1992 wurden umfangreiche Messungen an mehreren Maschinen bei unterschiedlichen Bearbeitungssituationen unter Labor- und Praxisbedingungen durchgeführt.

Die Analysen lassen sich in zwei Meßreihen unterscheiden. Die erste beinhaltet die Analyse der Hauptschallquellen einer Werkzeugmaschine (Hydraulik, Hauptantriebsmotor, Bearbeitungsgeräusch) mit dem Ziel, die Hypothese von der Überlagerung der einzelnen Geräusche zu bestätigen. In diesem Rahmen wurden Frequenzanalysen durchgeführt, die Auskunft über die spektrale Verteilung geben und durch den Vergleich der einzelnen Frequenzspektren Schlußfolgerungen über die Geräuschsituation an einer Werkzeugmaschine zulassen.

Gemessen wurde jeweils an drei Meßpunkten:

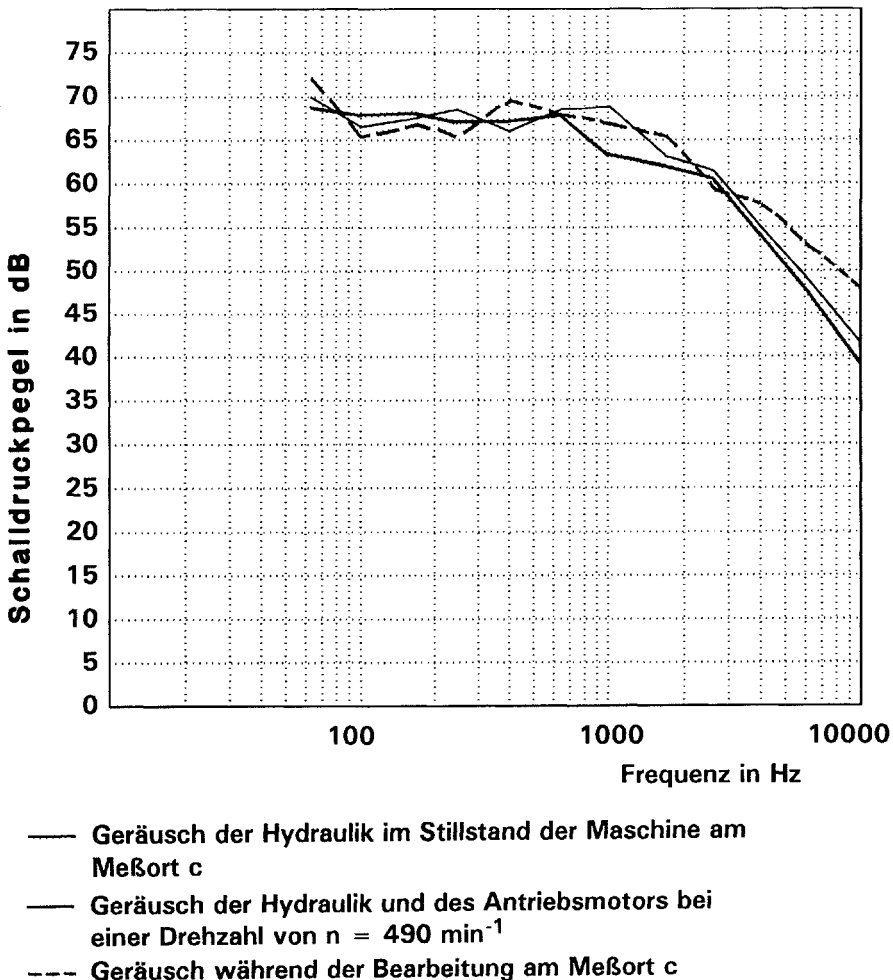
- im Nahfeld der Hydraulik (a),
- im Nahfeld des Hauptantriebes (b),
- am Standpunkt des Maschinenführers (c)

und bei den Betriebszuständen:

- eingeschaltete Hydraulik (a und b),
- eingeschalteter Hauptantrieb (b und c),
- Bearbeitung (c).

Durch das Vergleichen der aufgenommenen Spektren konnten die Hypothese über die gegenseitige Verdeckung der einzelnen Quellen erhärtet und die Herkunft der Emission in den einzelnen Frequenzbändern ermittelt werden. Durch das Aufzeichnen dieser Werte war es möglich, zeitliche Verläufe innerhalb der Frequenzspektren zu erfassen und auszuwerten (Kullmann u.a. 1992).

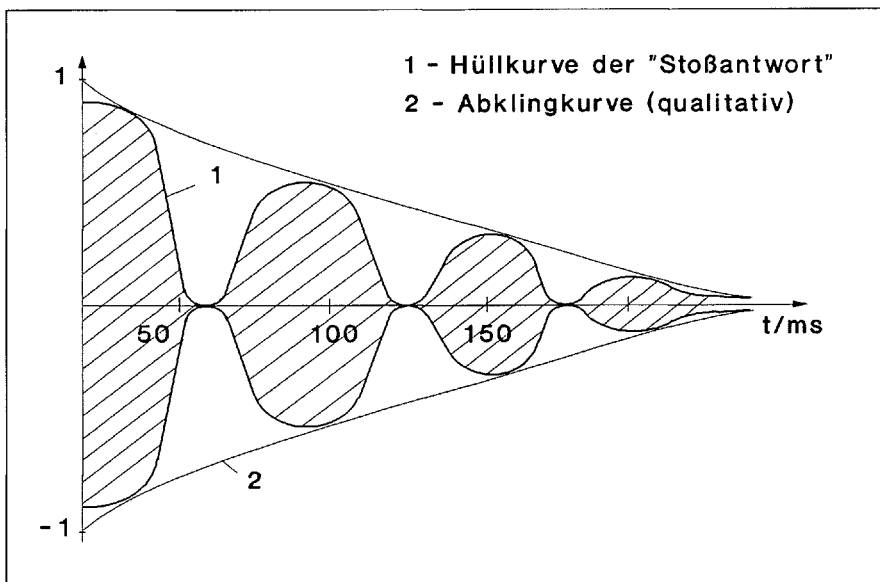
Hauptantrieb und Hydraulik hatten sich bereits im Vorfeld der Untersuchungen als die zwei bedeutendsten Störschallquellen herauskristallisiert. Ihnen wurde deshalb bei den weiterführenden Analysen besondere Beachtung geschenkt.



**Bild 3.19:** Frequenzcharakteristik einer ausgewählten Bearbeitung

Es besteht die Notwendigkeit, vor allem das Hydraulikgeräusch der Maschinen zu dämpfen, da es, wie im Bild 3.19 zu erkennen ist, das Bearbeitungsgeräusch sehr stark verdeckt. Zudem liegen die von der Hydraulik emittierten Geräusche im unteren Teil des hörbaren Frequenzbereiches und bewirken dadurch eine starke Verdeckung der benachbarten höheren Frequenzbereiche.

Eine zweite Meßreihe wurde im CNC-Zentrum Hamburg durchgeführt. Sie sollte Aufschluß über die Vermittlung des Bearbeitungsgeräusches geben. Zu diesem Zweck wurde direkt im Bearbeitungsraum ein Mikrofon installiert, um die auftreffenden Geräusche aufzunehmen und die entsprechende Geräuschsituation darzustellen. Durch die Auswertung der zweiten Meßreihe wurde eine weitere Problematik der Wahrnehmbarkeit originärer akustischer Prozeßäußerungen deutlich. Sie ist in der Uniformierung der Geräusche und in der Abhängigkeit der Übertragung von Resonanzen und Echoeffekten zu sehen. Wird eine aufgezeichnete Impulsantwort gedehnt, so kann man deutlich ein mehrfach wiederkehrendes Echo erkennen. Das bedeutet, daß die zeitliche Änderung der Schall-emission, die für die Schallmustererkennung von großer Bedeutung ist, durch diese Langzeiteffekte überschattet oder verfälscht wird.



**Bild 3.20:** Qualitative Darstellung der Hüllkurve

Es kann davon ausgegangen werden, daß der Facharbeiter zusätzlich zur Verdeckung des Bearbeitungsgeräusches durch die Verzerrung des ursprünglichen Geräusches, bedingt durch den Einsatz und die Gestaltung

der Kapsel, in seiner Informationsaufnahme behindert wird. Der gegenwärtige Erkenntnisstand läßt keine Aussage darüber zu, ob und inwieweit sich die Hörgewohnheiten des Facharbeiters dieser veränderten Informationsdarbietung bereits angepaßt haben.

Die Einbeziehung der Schallquelle "Zerspanungsprozeß" in die Konstruktion der Kapselung des Bearbeitungsraumes durch schalldämmende Maßnahmen ist in den letzten Jahren vollzogen und perfektioniert worden. Jedoch wurde hierbei vernachlässigt, daß neben der Lärmbelastung in den Zerspanungsgeräuschen auch Informationsgehalte für den Facharbeiter liegen (Carbon und Heisig 1992a; Carbon und Heisig 1992b). So beklagen Facharbeiter an gekapselten CNC-Werkzeugmaschinen die fehlende Rückkopplung der Zerspanungsgeräusche. Da diese Geräusche von Facharbeitern neben der Sicht in den Bearbeitungsraum als der wesentliche Indikator zur Beurteilung der laufenden Bearbeitung gesehen werden, besteht hier ein immenser Handlungsbedarf.

### (3) Gestaltung der Kapsel von Werkzeugmaschinen

Es können grundsätzlich zwei Wege zur Verbesserung der Informationsdarbietung beschrieben werden. Zum einen ist das insbesondere die Eliminierung von Störschallquellen (Geräusche der Hydraulik und des Hauptantriebs) und zum anderen die Gestaltung des Bearbeitungsraumes bzw. der Kapsel, die das Auftreten von Resonanzen und Echoeffekten verhindern soll.

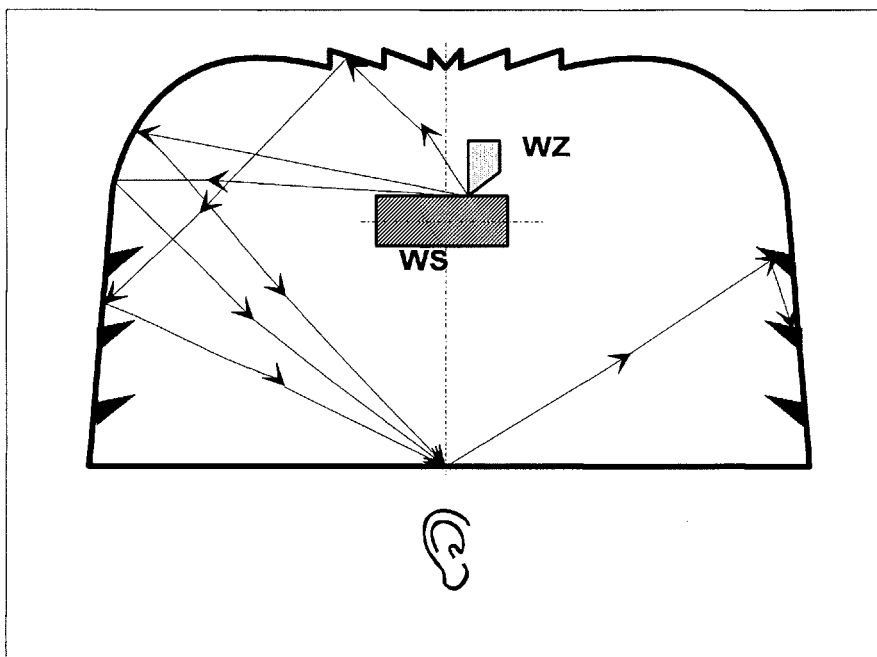


**Bild 3.21:** Probleme und Lösungsansätze zur Wahrnehmbarkeit des Bearbeitungsgeräusches



Zur Gestaltung der Kapsel wurden von Kullmann und Pascher (1992) folgende Schwerpunkte erarbeitet:

- Der Innenraum einer Werkzeugmaschine sollte derart gestaltet sein, daß Schallwellen, die von der Bearbeitungsstelle einmal reflektiert zur Sichtscheibe gelangen, möglichst die gleiche Länge aufweisen. Das Gestaltungskriterium ist hierbei die möglichst gleichphasige Anregung der vorderen Sichtscheibe. Auf diese Weise wird eine homogene Abstrahlung des Schalls nach außen ermöglicht, da die Schallübertragung an dieser Stelle durch die Scheibe als Festkörper erfolgen muß und die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls im Festkörper wesentlich höher als in der Luft ist.
- Echoeffekte müssen eliminiert werden. Dies ist beispielsweise durch die Vermeidung von parallelen Flächen, die an den untersuchten Maschinen das ausgeprägte Echo verursachten, erreichbar. Eine weitere Maßnahme ist die winklige Anordnung von Frontscheibe und Rückwand in einer Weise, daß Schallwellen auf die am Boden liegenden Späne reflektiert und dort absorbiert werden. Gegebenenfalls können auch die im Bild 3.21 angedeuteten Bleche eingesetzt werden. Ihre Wirkung beruht auf der Reflexion der von der Frontscheibe kommenden Wellen in eine Dreieckskehlung, wo sie gezielt zur Absorption gebracht werden.



**Bild 3.22:** Konstruktiver Gestaltungsvorschlag der Kapselung einer Werkzeugmaschine (WZ - Werkzeug, WS - Werkstück)

Haupteigenschaften dieser vorgestellten Kapsel sind die etwa gleichen Schallwege zum Facharbeiter und die sich verlierenden Reflexionswege.

#### **(4) Der Geräuscheschlitz**

Als weitere Lösung wurde von den CeA-Forschern ein verschließbarer Geräuscheschlitz vorgeschlagen, der unter Mitwirkung der Gildemeister AG und der Firma Autz und Herrmann in zwei unterschiedlichen Varianten realisiert wurde. In einem Praxistest, mehreren Laborversuchen und einem Langzeiteinsatz im CNC-Zentrum konnte die Praxistauglichkeit erprobt werden. Wobei anfänglich insbesondere der Austritt von Kühlschmiermittel als Nebel und feinen Spänen ein Problem darstellte, das aber im Laufe der Versuche reduziert werden konnte. Desweiteren ist die räumliche Anordnung der Geräuscheschlitze in der Maschinenkapsel von maßgeblicher Einfluß auf die Originalität der wahrnehmbaren Geräusche. Wird der austretende Schall durch viele sich überlagernden Reflexionen mit unterschiedlichen Reflexionswegen geprägt, dann verzerrt er sehr stark die relevante Information.

Der entscheidende Vorteil der Komponente besteht darin, daß das Bearbeitungsgeräusch bei Bedarf wahrgenommen werden kann, aber nicht permanent wahrgenommen werden muß. Damit wird auch der Tatsache Rechnung getragen, daß der Mensch zwar wegsehen, jedoch nicht weghören kann. Weiterhin stellt der Geräuscheschlitz eine Komponente dar, die mit geringem Mehraufwand realisiert werden kann. Gegenüber der sensorgestützten Schallaufnahme ist der Vorteil der geringeren Störanfälligkeit und der Originalität der Signale (bei richtiger Anordnung) besonders hervorzuheben.

Die hier aufgezeigten Wege zur Verbesserung der Wahrnehmbarkeit originärer akustischer Indikatoren basieren auf einem neuen Lärmschutzkonzept. Primäres Ziel ist nicht eine unspezifische Dämmung bzw. Dämpfung aller Maschinengeräusche zur Einhaltung des Grenzwertes der Schallemission, sondern es ist eine selektive Lärmdämmung anzustreben, die störende Geräusche filtert und für die Prozeßverfolgung und den Prozeßeingriff relevante Geräusche vermittelt. Die selektive Schalldämmung stellt eine Alternative bzw. eine Ergänzung zu technisch aufwendigeren Lösungen dar, z.B. der Erfassung akustischer Prozeßindikatoren über Sensoren und deren Vermittlung über Bildschirmanzeigen oder Lautsprecher.

#### **(5) Differenzierte richtungskodierte akustische Signal-darstellung beim Fräsen**

Im Unterschied zur Arbeitssituation an konventionellen Werkzeugmaschinen werden bei der CNC-Werkzeugmaschine aufgrund der unterschiedlichen Bearbeitungsbedingungen (höhere Geschwindigkeit bei gleichzeitig höherer Präzision) zusätzliche akustische Indikatoren benötigt, die sich nicht unmittelbar, d.h. originär akustisch, wahrnehmen lassen, gleichzeitig aber charakteristisch für die Bearbeitungsvorgänge sind.

Hinsichtlich der Signalerfassung liegt es nahe, sämtliche akustischen Informationen, d.h. Luftschall und Körperschall, mit Hilfe einer prozeßnahen

Sensorik aus dem gekapselten Arbeitsraum der Maschine aufzubereiten. In diesem Zusammenhang konnte im Rahmen technisch orientierter Vorversuche bereits gezeigt werden, welches Informationspotential der Körperschall beinhaltet (Weck, Mertens und Schubert 1991; Weck, Mertens und Schubert 1993). Insbesondere sei hier auf die Möglichkeit hingewiesen, den Werkzeug-/Werkstück-Kontakt unmittelbar akustisch darzustellen. Diese Form der akustischen Überwachung kann bei der Fräsbearbeitung für Ankratz- oder Anlethroperationen im Einrichtbetrieb - eine Aufgabenstellung aus dem Bereich des Werkzeug- und Formenbaus - optimal genutzt werden. Darüber hinaus ist in Analogie zur Funktionsweise automatischer Werkzeugüberwachungssysteme auf der Basis der Körperschallsignalauswertung eine Unterstützungsfunktion für den Benutzer bei der Prozeßüberwachung gegeben. Dies gilt in besonderem Maße im Bereich der Kleinserien- und Einzelteilerfertigung, wo eine gezielte Überwachung des Fertigungsprozesses hinsichtlich Werkzeugverschleiß, Einsatz des "richtigen Werkzeuges", Wahl der Bearbeitungsparameter usw. ausschließlich durch den Facharbeiter erfolgt.

Als Ergebnis der bereits genannten Voruntersuchungen hatte sich desweiteren gezeigt, daß die Interpretation der Körperschallsignale für den Benutzer einen spezifischen Einarbeitungsaufwand erfordert, da die vermittelten akustischen Information keinen direkten Bezug zur konventionellen Erfahrung aufweisen. Aus diesem Grund kann es von Bedeutung sein, den Luftschall aus dem Arbeitsraum der Maschine parallel zur Darstellung des Körperschalls aufzubereiten. Das Ziel dieser Signalvermittlung ist es, dem Facharbeiter sowohl einen umfassenden Höreindruck als auch eine Einordnung der Körperschallsignale zu ermöglichen.

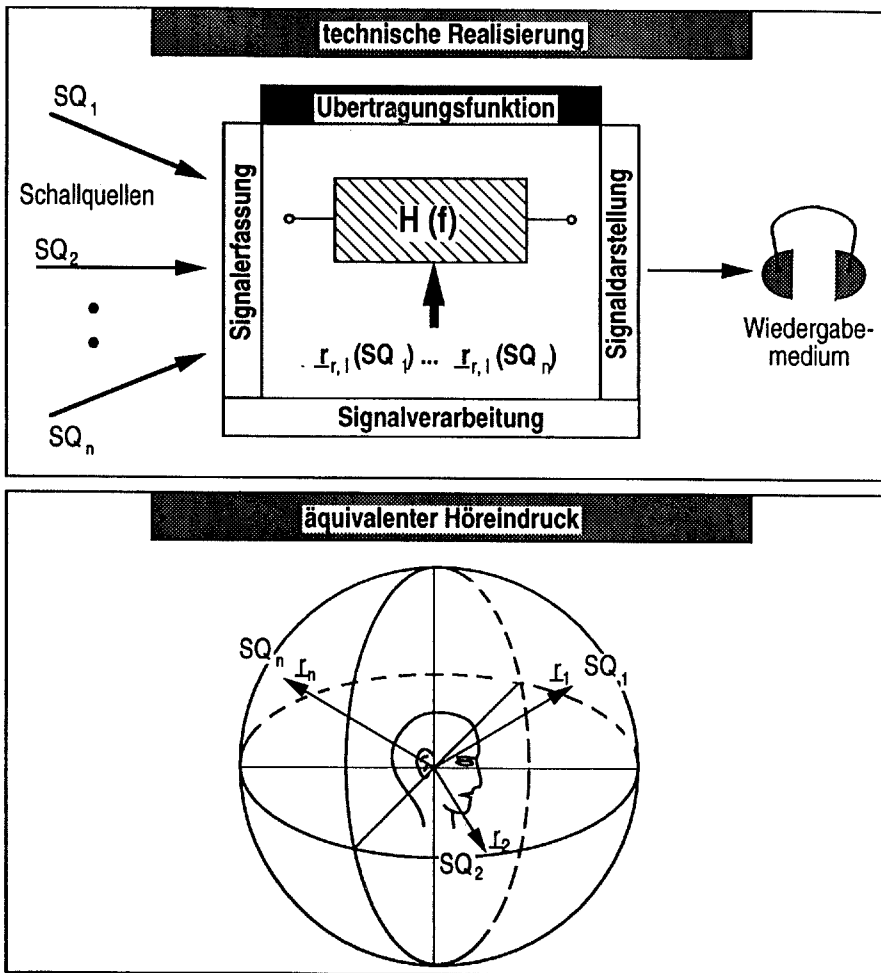
Allgemein ist zu berücksichtigen, daß eine Bewertung der Signale durch das Gehör des Facharbeiters erfolgt. Diese Bewertung stützt sich dabei auf relative Signaländerungen. Demzufolge können für die Signalerfassung einfache Sensoren - z.B. ein Klopfsensor als Körperschallsignalaufnehmer oder ein Monomikrophon zur Erfassung des Luftschalls - eingesetzt werden. Als Beleg dieser Aussage dienen die Ergebnisse von Meßreihen, die unter Anwendung der Kunstkopfmeßtechnik durchgeführt wurden. Das Ziel der Untersuchungen war es, eine möglichst detailgetreue Erfassung und Wiedergabe des originären Signalcharakters zu ermöglichen. Für die Durchführung der Meßreihen wurde hier ein Kunstkopf im Arbeitsraum eines Bearbeitungszentrums installiert (Genuit 1984). Für eine Interpretation der Geräusche während des Bearbeitungsvorgangs wurde dem Facharbeiter das akustische Signal in binauraler Form über einen Kopfhörer zur Verfügung gestellt. Bei der Bewertung des grundlegenden neuen Höreindrucks stellte sich heraus, daß eine derartige Darstellung der akustischen Informationen beim Hörer ein "beklemmendes" Gefühl hervorruft, so daß diese Vermittlungsform grundsätzlich abgelehnt wurde.

Die Vermittlung der Körper- sowie der Luftschallsignale kann auf verschiedenen Arten erfolgen. Einerseits besteht die Möglichkeit, die Signale selektiv - d.h. unterschieden nach Luftschall oder Körperschall - darzustellen. Andererseits ist auch ein einfaches Mischen der Signale technisch möglich. Beide Formen der Signalvermittlung weisen jedoch spezifische

sche Nachteile auf. Im Hinblick auf die selektive Darstellung ist es nicht möglich, eine geschlossene akustische Darstellung zu bieten. Beispielsweise würde bei der Darbietung des Körperschalls die als scheinbar wichtig zu erachtende Möglichkeit der diffusen Hintergrundwahrnehmung auf der Basis des Luftschalls ausgeblendet. Im Falle der gemischten Darbietung ist eine Differenzierung zwischen den einzelnen Signalquellen durch das menschliche Ohr jedoch nur unzureichend möglich.

Aus diesen Gründen wurde nach Möglichkeiten gesucht, eine gleichzeitige und darüber hinaus verständliche Form der Darbietung für Luft- und Körperschallsignale zu realisieren. Diesbezüglich ist aufgrund der umfassenden Ergebnisse auf dem Gebiet der Kunstkopfmeßtechnik eine Lösung - das sogenannte Richtungsmischpult - bekannt. Hierbei werden die jeweiligen akustischen Signale über ein spezielles Filter aufbereitet, verstärkt und über einen Kopfhörer wiedergegeben. Für den Hörer entsteht bei geeigneter Wahl der Filterkoeffizienten der Eindruck, als könnten den Signalquellen verschiedene Entstehungsorte zugewiesen werden. Dieser Sachverhalt ist nachfolgend in Bild 3.23 graphisch dargestellt.

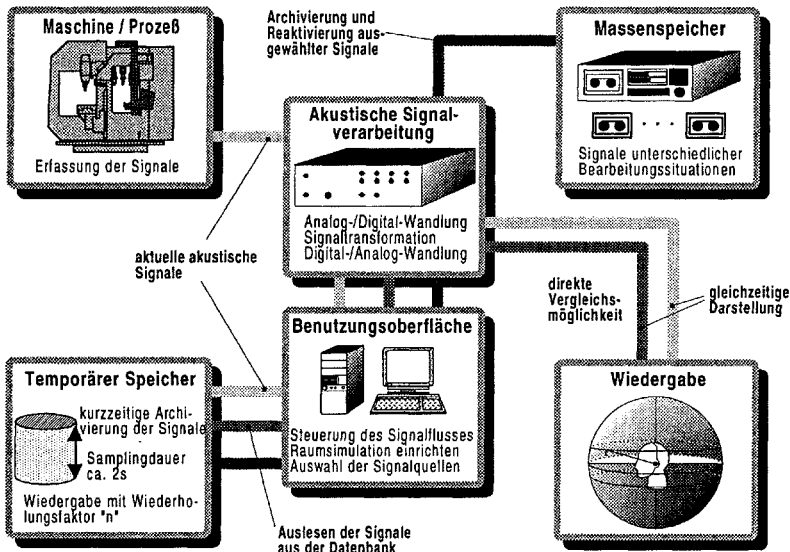
Aus technischer Sicht gesehen, werden für die Realisierung des Mischpultes die Übertragungsfunktionen des menschlichen Außenohres im Signalverarbeitungssystem über Filterkoeffizienten nachgebildet. Um einen möglichst flexiblen Einsatz in Laboruntersuchungen zu gewährleisten, wurde ein digitales System aufgebaut. Die Berechnung der Ausgangssignale für den Benutzer erfolgt on-line im Zeitbereich. Hierbei wird durch die Anwendung geeigneter Signalprozessorkomponenten sowie der softwaretechnisch implementierten, mathematischen Rechenvorschriften (Faltungsprodukt) die Transformation der akustischen Eingangssignale durchgeführt. In Verbindung mit einem Kopfhörer als Ausgabemedium steht dem Maschinenführer die akustische Information in der richtungskodierten Form zur Verfügung.



**Bild 3.23:** Prinzip des Richtungsmischpults

Unter Einsatz des beschriebenen digitalen Systems können über die richtungskodierte Darstellungsform hinaus weitere flexible Unterstützungsfunktionen für den Benutzer eingerichtet werden. In Abhängigkeit der Arbeitssituation lassen sich hierdurch anwendungsbezogene benutzerspezifische Systemkonfigurationen, beispielsweise die Auswahl der Signalquellen, die selektive oder transformierte Darstellung, der Pegel des jeweiligen Eingangssignals usw., in einfacher Form speichern sowie reaktivieren. Darüber hinaus wurde die Möglichkeit geschaffen, die akustischen Signale selbst entsprechend der gewählten Systemkonfiguration zu archivieren. Das bedeutet, daß der Benutzer in der Lage ist, charakteristische Vorgänge während der Bearbeitung akustisch zu speichern. In vergleichbar ähnlichen Arbeitssituationen können diese Daten reaktiviert

und als Vergleichsmaß für die Beurteilung der aktuellen Zusammenhänge herangezogen werden. Die Funktionalität der Archivierung bezieht sich sowohl auf kurz- als auch auf langfristige Vorgänge, so daß ausgehend von der Beurteilung von Werkzeugverschleißvorgängen bis hin zur Einrichtung einer komplexen Signalbibliothek für umfassende Überwachungsaufgaben dem Benutzer umfangreiche Möglichkeiten für die akustische Prozeßverfolgung zur Verfügung stehen (Bild 3.24).



**Bild 3.24:** Funktionalität der akustischen Signalbibliothek

## 6) Körperschallsignalausgabe über Kopfhörer beim Drehen

Mit dem Aufnehmen des Körperschalls und dessen on-line Wiedergabe ist eine Aufbereitung eines bekannten Indikators gelungen, der dem Facharbeiter bereits vertraut ist und dadurch zu einer erheblichen Steigerung der Prozeßtransparenz beiträgt.

Bei dieser Komponente wird der Körperschall durch einen Körperschallsensor aufgenommen, der im Kraftfluß des Bearbeitungsprozesses möglichst nahe am Zerspanungsprozeß montiert wird. Er mißt die Bauteilschwingungen in einem recht großen Frequenzspektrum, so daß auch Schwingungen erfaßt werden, die nicht als Luftschwingungen für das menschliche Ohr hörbar werden. Die Bauteilschwingungen werden durch eine kleine seismische Masse aufgenommen, die entsprechend den Schwingungen auf einen Quarz drückt. Die quasistatischen Veränderun-



gen des Quarzes werden durch einen integrierten Impedanzwandler in niederohmige Spannungsänderungen umgesetzt und stehen somit zur weiteren Aufbereitung zur Verfügung.

Durch die Nähe des Sensors zum Prozeß können die bisher durch die Kapselung gedämmten Bearbeitungsgeräusche dem Facharbeiter wieder zugänglich gemacht und damit die Prozeßtransparenz durch eine subjektiv empfundene größere Prozeßnähe gesteigert werden.

Trotz gegenteiliger Versuchsergebnisse bei Untersuchungen zur voll-automatischen Körperschallanalyse von Zerspanungsprozessen reicht dem Facharbeiter das hörbare Frequenzspektrum zur Identifikation von zerspanungsrelevanten Körperschallemissionen vollkommen aus.

Meßtechnisch lassen sich die von der Bearbeitung herrührenden Körperschallemissionen (allgemein auch Acoustic Emission - AE genannt) nur ab einem Frequenzbereich von 50 - 100 kHz analysieren und auswerten (Cavalloni und Kirchheim 1994, König und Ketteler 1994). Das menschliche Ohr kann jedoch nur in einem Bereich von 16 - 18000 (20000) Hz hören. Innerhalb dieses Frequenzspektrums sind hier in erster Linie die elektrischen und hydraulischen Haupt- und Vorschubantriebe, die Wälzlager, die Spindel selbst und das Getriebe zu nennen.

Der erfahrene und geübte Facharbeiter kann diese Störquellen jedoch offensichtlich sehr gut und quasi on-line "filtern" und so die für die Zerspanung relevanten Körperschallanteile für sich isolieren.

Die Körperschallsignale werden dabei durch einen vom Institut für Produktionstechnik und spanende Werkzeugmaschinen (PTW) der TH Darmstadt entwickelten Differenzenverstärker aufbereitet und dem Facharbeiter zugänglich gemacht. Die Signale können mit Kopfhörer oder - auf Wunsch - auch über kleine Aktivboxen ausgegeben werden. Dabei kann sich der Facharbeiter neben der Lautstärke auch das für ihn individuell aussagekräftigste Geräuschspektrum mittels einer Justierung der "Tiefen-", "Mitten-" und "Höhenfrequenzen" einstellen. Das auf diese Weise individuell modifizierte und von der Bearbeitungssituation abhängige Geräusch ist den Facharbeitern in seiner Charakteristik bekannt.

Auf einen Kopfhörer mit drahtloser Infrarot-Übertragung wurde im Prototypstadium absichtlich verzichtet, da durch die Antriebe und Steuereinheiten an Werkzeugmaschinen erhebliche magnetische und elektrische Felder ausgestrahlt werden, die sich dann durch Rauschen im Kopfhörer bemerkbar machen könnten. Auch der Körperschallsensor ist zur Zeit noch über ein Kabel mit dem Verstärker verbunden. Es konnte jedoch auch bisher bei allen nachträglich adaptierten Sensoren sowohl im Labor- als auch im Feldversuch eine geeignete Lösung gefunden werden, so daß das Anschlußkabel keinerlei Behinderung darstellte. Langfristig gibt es natürlich auch hier unterschiedliche Möglichkeiten zur Verbesserung der Datenübertragung. Als Beispiel seien hier nur die drahtlose Datenübertragung mittels Funk oder Infrarot zu nennen. Eine vergleichsweise billige Lösung bietet sich auf der konstruktiven Seite an. Bei der Entwicklung von neuen Werkzeugmaschinen könnte eine nachträgliche Montage eines Körperschallsensors mit entsprechendem Anschlußkabel sehr einfach berücksichtigt werden. Die Leitung könnte so durch entsprechende Kabel-

kanäle nach draußen zu dem in die Steuerung integrierten Differenzenverstärker geführt werden.

### 3.2.3 Taktil-kinästhetische Indikatoren

Roland Ruppel, PTW Darmstadt und Robert Mertens, WZL Aachen

#### (1) Kraftrückkopplung am Override-Drehschalter beim Drehen

In den ersten Laborversuchen zum kraftrückgekoppelten Override-Drehschalter wurde zunächst die Vorschubkraft gemessen und auf einen externen, also zusätzlich in die Steuerung integrierten Override-Drehschalter rückgekoppelt. Die Vorschubkraft wird über einen Kraftmeßmeißel mit einem 3-Komponenten-Kraftsensor aufgenommen und über einen Ladungsverstärker in ein äquivalentes Spannungssignal umgewandelt. Dieses Spannungssignal dient als Eingangsgröße für die Rückkopplung am Override-Drehschalter.

Die Rückkopplung äußert sich darin, daß beim Drehen in Richtung steigender Vorschubgeschwindigkeit und damit in Richtung höherer Vorschubkraft das Drehmoment am Override-Drehschalter zunimmt. Die Steigerung des Drehmomentes entspricht dabei der gemessenen Vorschubkraft. Es besteht also eine direkte Beziehung zwischen der über die eingestellte Vorschubgeschwindigkeit verursachten Vorschubkraft und der spürbaren Widerstandskraft am Override-Drehschalter. Dem Facharbeiter soll damit die Möglichkeit gegeben werden, die Optimierung der Technologieparameter während der Bearbeitung mit "Gefühl" durchführen zu können. Es ist damit ein Werkzeug realisiert, daß das Erfahrungswissen wieder mehr in den Produktionsprozeß integriert.

Das Widerstandsmoment selbst wird bei dem Prototyp durch das Haltemoment eines Schrittmotors erzeugt. Über eine eigens entwickelte Motorsteuerung wird das Haltemoment am Motor in Abhängigkeit des Spannungssignals der Vorschubkraftmessung geregelt. Die Ausgangswelle des Schrittmotors ist über einen Zahnriemen mit einem Potentiometer verbunden, das wiederum direkt mit der Achse des Override-Drehschalters gekoppelt ist. Wird nun am Override-Drehschalter gedreht, verstellt man damit das Potentiometer. Abhängig von der Potentiometerstellung wird dann das entsprechende analoge Signal zunächst digitalisiert. Den digitalisierten Werten sind in einem sogenannten "EPROM" (Erasable Programmable Read Only Memory) die steuerungsspezifischen Codes zur Überschreibung der steuerungseigenen Overridestellung zugeordnet. Diese werden dann an die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) der Werkzeugmaschine übermittelt. In der SPS selbst wird der eigene Wert von dem neuen überschrieben und an die Antriebssteuerung weitergegeben.

Theoretisch ist es durch dieses Schaltungskonzept möglich, jedes beliebige Ausgangssignal zu erzeugen und somit an unterschiedliche Steuerungen anzupassen. Voraussetzung dafür ist, daß das CNC-Steuerungskonzept einen optional zuschaltbaren zweiten Override-Drehschal-

ter überhaupt zuläßt. Bei den durchgeführten Versuchen wurde der Prototyp an eine Boehringer VDF 180 Drehmaschine mit einer Siemens 880T-Steuerung eingebaut. Der externe Override-Drehschalter konnte wahlweise zu- bzw. abgeschaltet werden. Im Falle der Abschaltung des zweiten Override-Drehschalters wurde sofort die Schalterstellung des Original-Override aktiv.

Dies war zunächst auch eine sinnvolle Vorgehensweise, da in den ersten Ausführungen des kraftrückgekoppelten Override-Drehschalters das Potentiometer als 10-Gang-Potentiometer ausgelegt war. Dies bedeutet, daß zehn Umdrehungen notwendig waren, um den Override von Anschlag zu Anschlag zu drehen. Der Einbau des 10-Gang-Potentiometers hatte ursprünglich mehrere Gründe. Zum einen sollte vermieden werden, daß es bei einer zu schnellen Steigerung der Vorschubgeschwindigkeit und des damit verbundenen starken Haltemomentes am Override aufgrund der Trägheit der Steuerung zu Klemmungen und damit zu weiteren Folgeschäden, wie z.B. Werkzeugbruch, kommen konnte. Zum anderen sollte dem Facharbeiter die Möglichkeit gegeben werden, mit einer hohen Auflösung der Kraftrückkopplung zu arbeiten.

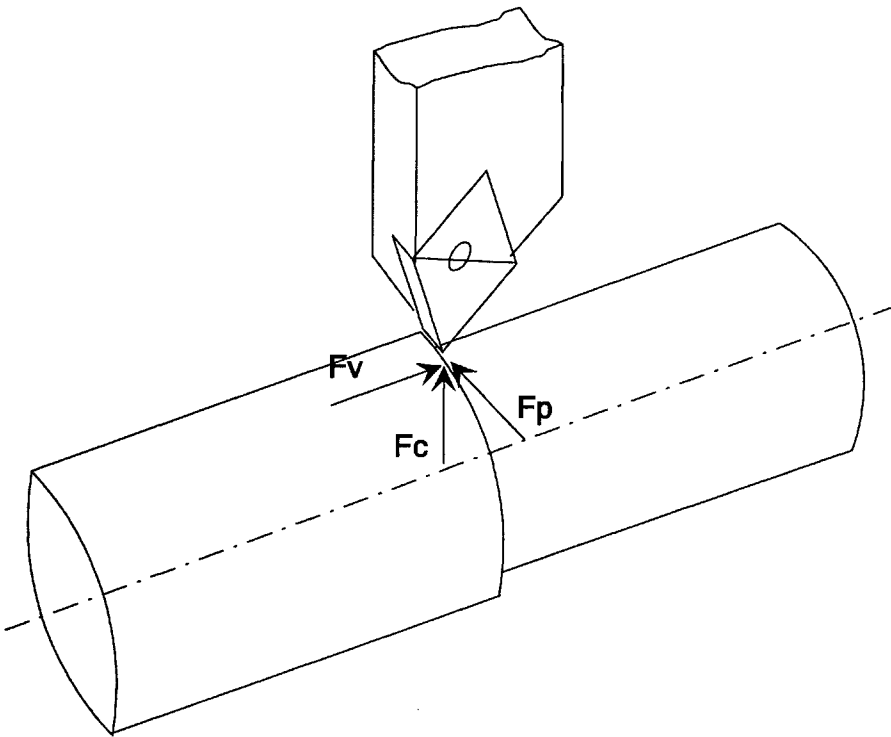
Bei den Versuchen stellte sich jedoch sehr schnell heraus, daß dieses Vorgehen eher hinderlich als nützlich war. Die Facharbeiter wollten lieber schnell mit einer Bewegung am Override-Drehschalter den Vorschub und damit die Bearbeitung anhalten können, als erst den Umschalter für den Original-Override zu betätigen. Dementsprechend wurde bei der nächsten prototypischen Realisierung der Gang des Potentiometers auf 270 Grad beschränkt.

Die Facharbeiter hatten bei ihren ersten Versuchen mit der Kraftrückkopplung generell Schwierigkeiten. Dies lag in erster Linie an der völlig neuen Situation, überhaupt eine Form der Kraftrückkopplung zu erhalten. Die Versuche zeigten, daß sie mit den angebotenen Signalen nicht unmittelbar etwas anfangen konnten. Übereinstimmend waren sie jedoch der Meinung, daß sie mit mehr Einarbeitungszeit die Signale und die Kraftrückkopplung an sich besser interpretieren könnten.

Außerdem wurde deutlich, daß die zuerst verwendete Schrittmotorsteuerung zu schwach ausgelegt war. Dies äußerte sich in einem zu kleinen Haltemoment bei voller Belastung und in einer für den Schrittmotor charakteristischen Rasterung, die im Vollschrittbetrieb deutlich spürbar war. Diese beiden technischen Kriterien konnten jedoch ohne großen Aufwand verbessert werden. Dies wurde zum einen durch eine Verstärkung der Spannungssignale erreicht, die an dem Schrittmotor anliegen. Damit wurde eine erhebliche Steigerung des anliegenden Drehmomentes erreicht. Die Rasterung konnte durch die Schaltung auf Halbschrittbetrieb und eine zusätzliche Untersetzung des Riementriebes zwischen Potentiometer und Schrittmotor stark gemindert werden.

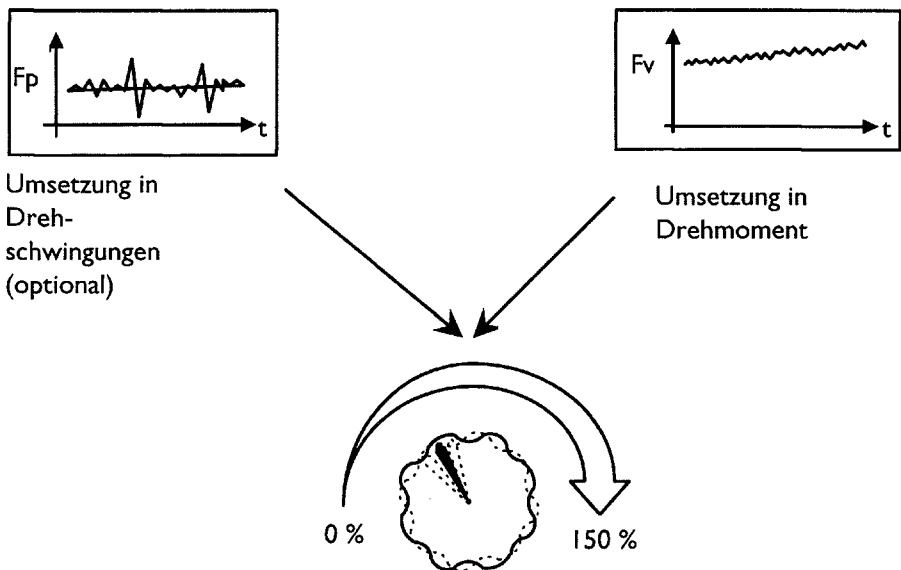
Von seiten der Facharbeiter kamen im Laufe der Versuche sehr wertvolle Hinweise zur weiteren Verbesserung der Komponente. Viel entscheidender als die Vorschubkraft sind für den erfahrenen Facharbeiter die Schwingungen der Schneidplatte während der Bearbeitung. Dies konnte dadurch berücksichtigt werden, daß neben der Vorschubkraft auch die Passivkraft gemessen und die Signale weiterverarbeitet werden.

Die Passivkraft ist die Zerspanungskraft, die radial zwischen Werkstück und Werkzeug wirkt.



**Bild 3.25:** Zerspanungskräfte beim Drehen

Über die Passivkraft lassen sich schwingungsproportionale Signale aufnehmen, die ebenfalls auf den externen Override-Drehschalter rückgekoppelt werden. Das neue Konzept sieht vor, daß die Schwingungen an der Schneidplatte durch proportionale Drehschwingungen des Override-Drehschalters um seinen Arbeitspunkt dem Facharbeiter rückgekoppelt werden. Technisch wird dies durch eine zusätzliche Modifikation in der Schrittmotorsteuerung realisiert. Entsprechend des Frequenz- und Amplitudenverlaufs der Passivkraft wird der Schrittmotor um ein bis zwei Schritte vor bzw. nach dem aktuellen Stand geschaltet. Dabei entspricht die Anzahl der Schritte in eine Richtung der Amplitude, die Schrittfolge der Frequenz der Passivkraft. Diese Rückkopplung kann wahlweise zu- bzw. abgeschaltet werden.



**Bild 3.26:** Kraftrückkopplung auf Override-Drehschalter

## (2) Kraftrückkopplung auf Joystick und Handrad beim Fräsen

Wie die vorgelagerten Feldstudien ergaben, besteht bei Facharbeitern ein Bedarf hinsichtlich der manuellen Führung von CNC-Werkzeugmaschinen, insbesondere beim Einrichten sowie für die Durchführung einfacher Bearbeitungsoperationen. In der Option zur manuellen Steuerung der Werkzeugmaschine sollen dabei aus der Sicht des Facharbeiters direkte Eingriffsmöglichkeiten bzw. eine manuelle Führung des Bearbeitungsprozesses oder von Teilen desselben ermöglicht werden.

Im ersten Schritt liegt es nahe, die Komponenten zur manuellen Führung aus dem Bereich der konventionellen Technik modifiziert auf das Gebiet der CNC-gestützten Bearbeitungsmaschinen zu transferieren. Die Entwicklung von elektronischen Handrädern für die manuelle Steuerung der NC-Achsen ist hierfür ein Beispiel. Dabei wurden aber sinnlich wahrnehmbare Rückkopplungen nicht mitbedacht, die aber aufgrund der menschlichen sensomotorischen Handlungssteuerung für eine optimale Prozeßregulation erforderlich sind. Bezüglich der Rückkopplung der Prozeßkräfte sind deshalb Aktoren in die Stellelemente zu integrieren, die den ausgelösten Eingriff in den Fertigungsprozeß direkt rückmelden und spürbar machen sollen.

Eine innovative Steuerungsmöglichkeit ergibt sich durch den Einsatz eines 3D-Stellelementes - den Joystick. Hierdurch ist es u.a. möglich, mit nur einem Stellelement bis zu drei Maschinenachsen ggf. auch gleichzei-

Auslenkungsgrad der Joystick-Achsen in eine geschwindigkeitsproportionale Eingangsgröße für die CNC-Werkzeugmaschine umzuwandeln, woraus für den Benutzer eine überaus komfortable Eingabe der manuell vorgegebenen Steuergrößen resultiert (Geschwindigkeitskompatibilität). Eine Rückkopplung von Prozeßkräften läßt sich bei diesem Stellelement ebenfalls realisieren, so daß auch hier eine Prozeßtransparenz bezüglich der spanenden Bearbeitung ermöglicht wird.

### **Auswahl der Prozeßkenngrößen**

Für die Erfassung der taktil-kinästhetischen Kenngrößen des Prozesses stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Zum einen sind als Meßeinrichtungen die bereits in Kapitel 3.2.2 vorgestellten Beschleunigungssensoren verwendbar, über deren Einsatz die Maschinenschwingungen während des Bearbeitungsvorganges technisch erfaßt werden können. Durch eine geeignete Aufbereitung der Prozeßsignale mit Hilfe eines Rechnersystems kann der Körperschall beispielsweise über die Rückkopplung auf die Stellelemente als Maß für die "Intensität" der Bearbeitung (Keller 1993) genutzt werden. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß durch die Anwendung dieses Rückführungsprinzips keine kinästhetische Beschreibung der real auftretenden Kräfte am Werkzeug und somit auch keine Aussage über den tatsächlichen Belastungszustand der Maschine sowie des Werkzeugs möglich ist.

Zum anderen sind Meßprinzipien auf der Basis piezoelektrischer Sensoren bekannt, die eine direkte Erfassung der achsspezifischen Kraftkomponenten ermöglichen. Im Zusammenhang mit der Fräsbearbeitung sind insbesondere Kraftmeßplattformen zu erwähnen, die werkstückseitig im Kraftfluß zwischen Maschinentisch und Aufspannvorrichtung installiert werden (Fa. Kistler 1985). Nachteilig sind bei dieser Meßeinrichtung sowohl die notwendige Kabelverbindung zwischen den Sensoren und den Meßverstärkern (mangelnde Flexibilität bei der Bearbeitung) als auch der hohe Kostenfaktor des gesamten Systems.

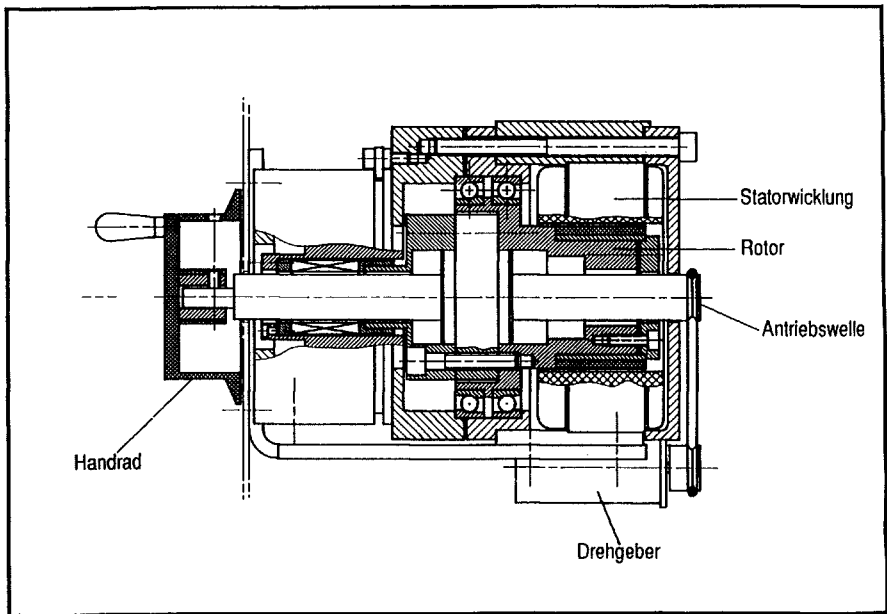
Wesentlich praxisorientierter sind demgegenüber maschinenintegrierte Meßeinrichtungen, die eine Erfassung der Bearbeitungskräfte im Kraftnebenfluß über die Verformungen von Maschinenkomponenten ermöglichen (May und Wiesner 1988). Die Signale der Sensoren werden bei dieser Applikation durch Verstärkereinheiten aufbereitet und können schaltungstechnisch in die achsspezifischen Kraftkomponenten umgerechnet werden. Hierdurch ist gewährleistet, daß einerseits eine vorzeichen- und betragsrichtige Ansteuerung der aktiven Elemente in den jeweiligen Achsen erfolgen sowie andererseits der reale Belastungszustand des Systems kraftproportional dem Benutzer dargeboten werden kann.

### **Prototypische Realisierung der Stellelemente**

Für beide technischen Komponenten - Joystick und Handrad - wurden am WZL mechanische sowie steuerungstechnische Lösungen erarbeitet.

Bild 3.27 zeigt ein elektronisches Handrad mit integrierter Kraftrückkopplung. Im normalen Steuerungsbetrieb, beispielsweise während des Einrichtens, verhält sich das Stellelement wie ein herkömmliches konventionelles Handrad.

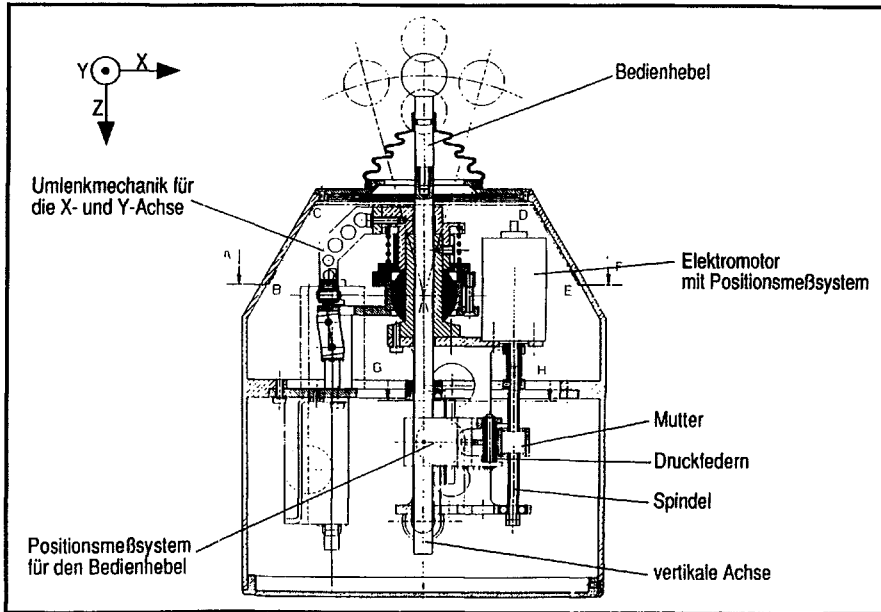




**Bild 3.27:** Handrad mit integrierter Kraftrückkopplung

Werden einfache Bearbeitungsoperationen durchgeführt, kann mit Hilfe eines Rechnersystems - zuständig für die Verarbeitung der Prozeßkräfte sowie für die Ansteuerung der Aktoren - der direkt gekoppelte bürstenlose Gleichstrommotor gesteuert werden. Hierbei wird über einen Stromregelkreis ein der Vorschubkraft proportionales Moment erzeugt. Der Benutzer spürt somit im Bearbeitungsfall ein Widerstandsmoment bei der Betätigung des Handrades.

Die mechanische Realisierung des Joysticks ist in Bild 3.28 dargestellt. Im Gegensatz zu handelsüblichen Ausführungen verfügt das hier gezeigte Stellelement über eine translatorische dritte Achse (senkrechte Richtung).



**Bild 3.28:** Joystick mit kinästhetischer Rückkopplung

Diese Achse ist hier aus Gründen der Kompatibilität zur realen Maschine als Linearachse ausgeführt. Für den Betriebsfall ohne Krafrückkopplung wird die Auslenkung der jeweiligen Joystick-Achse über einen Winkelgeber von einem Rechnersystem erfaßt. Dieses System berechnet daraufhin eine Sollgröße, um das schraffiert dargestellte Federsystem für die Krafrückkopplung elektromotorisch nachzuführen. Der Benutzer spürt bei der Auslenkung der Joystick-Achsen lediglich die für den Betrieb erforderliche winkelabhängige Rückstellkraft des Stellelementes. Im Falle der spanenden Bearbeitung werden wiederum die Bearbeitungskräfte erfaßt und von einem Mikrorechnersystem in eine der realen Prozeßkraft proportionale Stellgröße umgesetzt. Hierdurch wird über das Federsystem die erforderliche Krafrückkopplung auf den Stellhebel übertragen.

### 3.3 Funktionsbausteine zur Unterstützung der Prozeßführung

#### 3.3.1 Regulation durch manuelle Prozeßführung

Roland Ruppel, PTW Darmstadt; Robert Mertens, WZL Aachen und Peter Ligner, FGAT Berlin

##### (1) Eingriffe per kraftrückgekoppeltem Override-Drehschalter beim Drehen

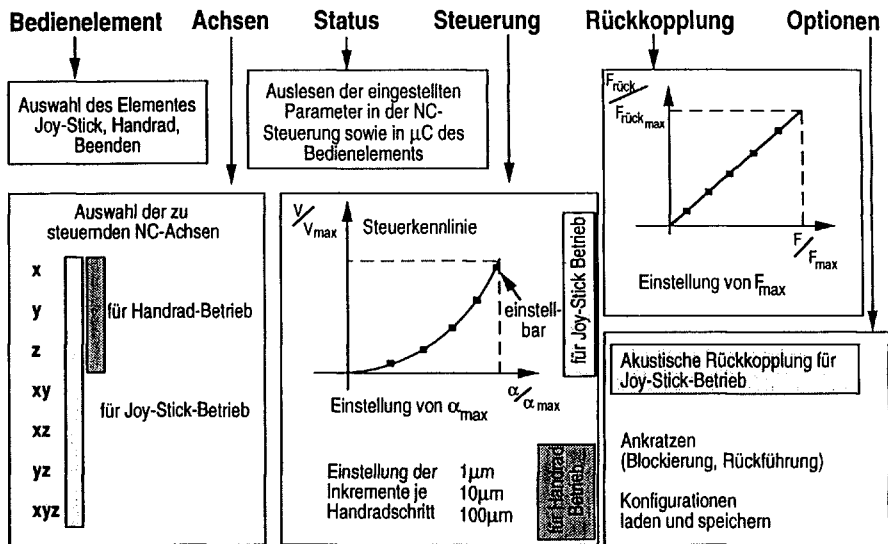
Ziel des kraftrückgekoppelten Override-Drehschalters ist es, dem Facharbeiter wieder ein "Gefühl" für die Zerspanungsparameter während des laufenden Prozesses zu vermitteln. So werden die aktuellen Zerspanungsverhältnisse durch die Rückkopplung der Zerspanungskräfte wieder "erfahrbar". Der Override-Drehschalter ist damit nicht mehr nur ein Regulinstrument, sondern liefert gleichzeitig aktuelle Informationen, so daß der Facharbeiter wieder Erfahrung sammeln und auch einsetzen kann.

Der kraftrückgekoppelte Override-Drehschalter wird somit zu einem transparenten Eingriffsmedium. Der Facharbeiter kann systematisch neben den anderen Indikatoren (Geräusche, Schwingungen usw.) Erfahrungswissen erwerben und direkt in den laufenden Prozeß einbringen. Dies steigert neben der Attraktivität des Arbeitsplatzes auch die Motivation des Mitarbeiters, da seine nach "Gefühl" eingestellten Parameter bzw. deren Auswirkungen sofort spürbar rückgemeldet werden. Für den laufenden Bearbeitungsprozeß stellt dies eine erhebliche Steigerung der Prozeßtransparenz dar, die sich auch in der Qualität der Werkstücke widerspiegelt. Durch die subjektiv empfundene Nähe zum Bearbeitungsprozeß werden die technologischen Möglichkeiten durch die Facharbeiter besser ausgereizt. Durch den kraftrückgekoppelten Override-Drehschalter haben sie ein weiteres Instrument in der "Hand", um einerseits den Bearbeitungsprozeß sowie das eigene Arbeitshandeln zu beurteilen und andererseits situationsadäquat die Drehzahl sowie die Vorschubgeschwindigkeiten zu regeln.

Ein wichtiges Kriterium ist dabei die Unterstützung der taktilen bzw. kinästhetischen Wahrnehmung. An CNC-Werkzeugmaschinen der heutigen Bauart ist die Erfassung des Bearbeitungsprozesses für die menschlichen Sinne sehr erschwert, da die Beurteilung des Bearbeitungsprozesses durch den Facharbeiter gar nicht vorgesehen war und ist. Der kraftrückgekoppelte Override-Drehschalter stellt somit eine neue Verbindung zwischen dem Facharbeiter und dem Prozeß her. Die Steuerung bietet neben dem Sichtschutzfenster die visuelle Möglichkeit der Prozeßtransparenz. Häufig sind diese Informationen aber so vielfältig, daß optisch alleine der Prozeßablauf gar nicht beschrieben werden kann. Neben der optischen Informationsaufnahme bedienen sich die Facharbeiter sehr häufig der akustischen Informationen, wie sie im Kapitel 3.2.2 beschrieben sind.

## (2) Eingriffe per Joystick und Handrad beim Fräsen

Unter Einsatz der in Kap. 3.2.3 vorgestellten Stellelemente lassen sich unter Verwendung eines speziell konzipierten Steuerungssystems verschiedene Unterstützungsfunktionen für den Facharbeiter im Einrichtbetrieb sowie hinsichtlich der manuellen Bearbeitung ableiten. Die Auswahl dieser Funktionen erfolgt - entsprechend der eingestellten Betriebsart - über eine PC-Benutzeroberfläche. Im Rahmen der derzeitigen Realisierungsphase sind die CNC-Steuerung sowie das System zur Steuerung der Stellelemente lediglich auf informationstechnischer Ebene gekoppelt, so daß die erforderlichen Eingaben des Benutzers bei beiden Systemen erfolgen müssen. Eine Beschreibung der Funktionen soll im folgenden anhand der in Bild 3.29 dargestellten Benutzeroberfläche durchgeführt werden.



**Bild 3.29:** Benutzeroberfläche für die Stellelemente Joystick und Handrad

Unter dem Menüpunkt "Auswahl" kann eines der beiden Stellelemente - Joystick oder Handrad - für den manuellen Betrieb ausgewählt werden. Unter dem Begriff "Achsen" kann eine Auswahl der zu aktivierenden Achsen getroffen werden. Der Handradbetrieb umfaßt bei Verwendung des elektronischen Handrades lediglich die manuelle Steuerung einer Achse. Im Joystick-Betrieb hingegen können sowohl einzelne Achsen als auch beliebige Kombinationen miteinander angewählt werden. Diese Einstellungen sind notwendig, um sowohl eine Grobpositionierung der Maschine im Einrichtbetrieb als auch die präzise Steuerung einer oder ggf. zweier NC-Achsen im Falle der manuellen Bearbeitung zu realisieren. Die Auslenkung der Joystick-Achse wird dabei von dem Stellelementtrechner in eine

Sollgröße für die Vorschubgeschwindigkeit der zugeordneten NC-Achse umgesetzt. Berücksichtigt man die zuvor genannten unterschiedlichen Einsatzbereiche, sind dementsprechende maximale Geschwindigkeiten zu definieren. Diese Auswahl wird dahingehend unterstützt, daß unter dem Menüpunkt "Steuerung" eine graphisch interaktive Eingabe erfolgen kann. Die jeweilige Steuerfunktion kann dabei benutzerspezifisch geladen, modifiziert und im Rechnersystem archiviert werden.

Eine entsprechende Auswahlmöglichkeit ist hinsichtlich des Betriebs mit Kraftrückkopplung gegeben. Hierbei wird - den jeweiligen Anforderungen des Benutzers zufolge - eine Umsetzung der real auftretenden Prozeßkräfte in eine proportionale Rückstellkraft im Stellelement durchgeführt. Diese Einstellung erfolgt ebenfalls graphisch interaktiv und hat Gültigkeit für beide Stellelemente.

Weitere Unterstützungsfunktionen sind unter dem Menüpunkt "Optionen" zusammengefaßt. So läßt sich beispielsweise der kraftrückgekoppelte Stellmodus für beide Stellelemente optional abschalten. Darüber hinaus ist für den Joystick-Betrieb eine akustische Rückkopplung der Verfahrensgeschwindigkeit möglich. Das bedeutet, daß entsprechend dem Auslenkwinkel der Stellelementachse eine akustische Ausgabe der Inkremente über ein Wiedergabemedium erfolgen kann. Diese transformierte Darstellung scheint insbesondere für eine niedrige Verfahrensgeschwindigkeit (d.h. geringer Auslenkwinkel des Stellelementes) geeignet, bei der kein direkter visueller Bezug aufgrund der geringen Verfahrenswege der jeweiligen Maschinenachse möglich ist.

Desweiteren kann für die Bestimmung der Werkstücklage im Maschinenkoordinatensystem (Nullpunktsetzung) - in der Sprache des Facharbeiters auch "Ankratzen" genannt - eine Rückkopplung des Werkstück-Werkzeug-Kontakts auf das Stellelement erfolgen. Hierzu wird der bei der Werkstück-Werkzeug-Berührung auftretende Körperschallpegel durch den Vergleich mit einem einstellbaren Schwellenwert überwacht. Wird in dem Menü "Optionen" der Punkt "Ankratzen" aktiviert, so erfolgt bei Überschreitung dieses Schwellenwertes eine Aktion im Stellelement: Das Handrad wird hierbei "blockiert" bzw. die Achsen des Joysticks werden in die Nullposition zurückgestellt. In beiden Fällen wird eine Sollwertvorgabe an die NC-Achse unterbunden. Hinsichtlich dieses "automatisierten" Betriebsfalls ist jedoch zu berücksichtigen, daß aufgrund des Nachlaufweges der Maschinenachsen beim Kontaktvorgang Ungenauigkeiten auftreten können. Diese sind um so höher, je größer die Verfahrensgeschwindigkeit der Achse während des Ankratzvorgangs ist.

Wie bereits erwähnt, lassen sich facharbeiterspezifisch sämtliche Parameter unter dem Begriff "Konfiguration speichern" im Hostrechner archivieren. Entsprechend der jeweiligen Fertigungsaufgabe können somit die gewünschten Optionen vorbesetzt werden. Darüber hinaus ist bei sich wiederholenden Arbeitssituationen die Möglichkeit gegeben, die einmal gewählten Einstellungen zu reaktivieren.

## Bewertung und Ausblick

Die vorgestellten Systeme bzw. die implementierten Funktionen zeigen, wie ein kinästhetisches Feedback des Bearbeitungsprozesses für ein konventionelles elektronisches Handrad sowie für ein 3-achsiges Stellitelement aufgebaut und steuerungstechnisch unterstützt werden kann. Die Realisierung der Krafrückkopplung mittels aktiver Elemente ist dabei - insbesondere für den Joystick - mit einer aufwendigen mechanischen Konstruktion verbunden. Unter CeA-Aspekten erreicht die Funktionalität dieses Stellelementes jedoch einen besonderen Stellenwert, da einerseits Wahrnehmung und Handlung über die Krafrückkopplung zum Fertigungsprozeß miteinander verknüpft werden können. Andererseits ist durch den Einsatz des Joysticks und der damit verbundenen geschwindigkeitsproportionalen Steuerung der NC-Achsen eine benutzeradaptierbare Möglichkeit gegeben, in den manuellen Betriebsarten eine Bearbeitung komfortabel durchzuführen. Unter praxisorientierten Gesichtspunkten ist demgegenüber im Einzelfall zu prüfen, welche Funktionen des Stellelementes genutzt werden sollen. Beispielsweise kann im einfachsten Fall der manuellen Steuerung der NC-Achsen im Einrichtbetrieb auf die komplexe Mechanik für die Krafrückkopplung verzichtet werden. Hierdurch vereinfacht sich zum einen der mechanische Aufbau der Komponente. Zum anderen kann die Erfassung und Aufbereitung der Prozeßkenngrößen unter Einsatz der aufwendigen maschinenintegrierten Sensorik entfallen. Die Möglichkeit der Adaptierbarkeit des Stellelementes ist dennoch gegeben. Die Funktionalität beschränkt sich in diesem Fall jedoch auf die Einrichtung benutzerspezifischer Kennlinien für die Geschwindigkeitssteuerung der NC-Achsen.

Das Einsatzgebiet der Komponenten an CNC-Werkzeugmaschinen ist derzeit auf den Einricht- und Jog-Betrieb beschränkt. Durch eine steuerunginterne Einbindung der Stellelemente kann jedoch eine Erweiterung des Anwendungsumfangs realisiert werden. In diesem Zusammenhang sei insbesondere auf die Möglichkeit zur Unterstützung des programmgesteuerten Betriebs hingewiesen. Beispielsweise kann für die manuelle Bearbeitung einfacher Geometrien der Joystick dazu verwendet werden, Bewegungsfolgen für NC-Programme zu generieren. Im Sinne einer Record-Playback-Funktion kann hierdurch für den Einsatz in der Kleinserienfertigung eine direkte Erstellung von einfachen NC-Programmen oder häufig benutzten Makros erfolgen. Die Integration dieser neuen Funktionen in derzeit existierende Systeme ist aufgrund der z.T. unflexiblen CNC-Steuerungsarchitektur nicht möglich. Die Berücksichtigung neuer Entwicklungskonzepte für numerische Steuerungen läßt jedoch vermuten, daß eine Basis geschaffen wird, die eine umfassende Integration neuer Benutzungskonzepte an CNC-Werkzeugmaschinen ermöglicht.

Die dargestellten verschiedenen Realisierungsformen zeigen, daß aus der Sicht der Mensch-Maschine-Schnittstelle durch den Einsatz der Komponenten neue Steuerungsmöglichkeiten an CNC-Werkzeugmaschinen geschaffen werden können, die der Forderung nach Einbeziehung benutzerorientierter Ein- bzw. Ein- und Ausgabetechniken entsprechen.



### **(3) Funktionskonzept für ein Prozeßführungsmodul als frei positionierbare elektronische Handsteuerung mit Prozeß-rückkopplung**

Prozeßnahes Arbeiten und die darauf bezogene technische Unterstützung ist aus der Sicht erfahrungsgeleiteter Arbeit eine strategische Option, bei der es im Kern darum geht, Prozeßäußerungen, die nicht mehr direkt sinnlich erfahrbar sind, in neuer Form und prozeßnah zurückzukoppeln und mit ebenso prozeßnah implementierten Regulationsmöglichkeiten zur "Handsteuerung" des Bearbeitungsprozesses systematisch zu verknüpfen.

Konzeptionell steht damit ein Typus von Prozeßregulation im Mittelpunkt, den man als "Prozeßführung" bezeichnen kann. Dieses Modell von Arbeitshandeln verknüpft dabei unter dem leitenden Aspekt einer eingriffsorientierten Arbeitsweise Prozeßtransparenz mit eingriffsorientierten Handlungssequenzen, in denen sich zugleich die planungsorientierten und gestalterischen Kompetenzen erfahrungsgeleiteter Facharbeit entfalten und direkt als unmittelbare "Führungsgrößen" in den laufenden Prozeß eingespeist werden können.

In diesem Kontext gewinnen frei positionierbare Steuerungsmodule bzw. -komponenten wie etwa tragbare, frei platzierbare Handräder, Handsteuergeräte, halbstationäre bewegliche Arbeitspulte sowie andere dezentralisierte Steuerungseinheiten eine größere Bedeutung.

Diesbezüglich hat sich als Stand der Technik ein Spektrum herausgebildet, das von den tragbaren elektronischen Handgeräten mit freier Positionierbarkeit und Platzierbarkeit am Maschinenkörper (z.B. über Magnethaftung) über halbstationäre bewegliche Arbeitspulte, die verfahrbar und/oder schwenkbar sind und in vielen Einsatzfällen (z.B. bei kleinen Maschinen mit überschaubaren Arbeitsbereichen) ausreichende Prozeßnähe sichern, bis hin zu festen zusätzlichen Steuerstationen reicht, die z.B. im Großmaschinenbau in der Nähe kritischer Prozeßabschnitte bzw. nahe an wichtigen maschinellen Teilsystemen (z.B. am Werkzeugmagazin) platziert werden und vom Funktionsumfang her meist die vollwertige Maschinensteuerungs- und ggf. CNC-Steuerungsfunktionalität aufweisen.

Entscheidend für prozeßnahes erfahrungsgeleitetes Arbeiten, das sich weiter je nach differenzierter Einsatzsituation und Maschinengröße in dem skizzierten räumlichen Spektrum bewegen wird, bleiben jedoch der Umfang und die Qualität der "vor Ort" zur Verfügung gestellten Steuerungsfunktionalität.

Die bisher prozeßnah angebotene Steuerungsfunktionalität beschränkt sich in den meisten Fällen auf wenige Einsatzbereiche (z.B. Einrichten) und funktional auf die Ansteuerung von Maschinenachsen. Zwar bieten einige Steuerungen Anschlußmöglichkeiten für verteilte Arbeitspulte, allerdings nicht als anwenderorientierte, konfigurierbare Steuerungsmodule, sondern nur als parallel geschaltete CNC-Einheiten mit Vollfunktionalität z.B. an Großmaschinen (Pritschow und Lauerer 1993).

Darin spiegelt sich eine Benutzungsphilosophie wider, deren Zielsetzung und Leitbild die Vorbereitung und Überwachung von weitgehend automatisierten Bearbeitungsprozessen ist und bei der daher das Arbeits-

handeln an CNC-Werkzeugmaschinen auf Programmier-, Planungs- und Überwachungstätigkeiten reduziert sein soll.

Dieses Leitbild gerät allerdings zunehmend ins Wanken. Zumindest bei der Einzel-, Kleinserien- und Reparaturbearbeitung hat der reale Bearbeitungsprozeß des Zerspanens mit dem Ergebnis eines qualitätsgerechten Einzelteils und nicht etwa eine zeitaufwendige Vorab-Programmierung (Ligner und Striepe 1993) den zentralen Stellenwert. Unter diesen, für weite Teile des Maschinenbaus durchaus typischen Produktionsbedingungen, entstehen Anforderungen und Konzepte in Richtung einer manuellen Steuerung von CNC-Werkzeugmaschinen (Böhle, Carus und Schulze 1992), die z.T. an ältere Handeingabe- bzw. Handsteuerungskonzepte anknüpfen (Ligner 1993).

Damit eröffnet sich ein neues Feld für eine prozeßnahe-elektronische Handsteuerung, mit der der Werker vor Ort - d.h. unmittelbar in der Nähe des Bearbeitungsprozesses - die Zerspanung sicher führen und mit dem Ergebnis eines qualitätsgerechten Einzelteils abschließen kann.

Vom Kern her geht es bei diesem Handsteuerungskonzept um eine abgestimmte Kombination von prozeßnahen Eingriffskomponenten (Handrad, Joystick usw.) mit wählbaren, im Bearbeitungsablauf wechselbaren und ggf. aufeinander aufbauenden Regulationsarten. Entscheidend bleibt hierfür, inwieweit diese verschiedenen Regulationsarten als an den unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien orientierte "Betriebsarten" in der CNC-Steuerung implementiert und wie diese hard- und softwareergonomisch gestaltet sind.

Das Funktionskonzept eines Prozeßführungsmoduls ist von daher auf die technische Unterstützung einer ganzheitlichen und prozeßnahen Führung des Maschinensystems und der Bearbeitung gerichtet, d.h. es geht um eine funktionelle Verknüpfung von direkter Steuertätigkeit über entsprechende Eingriffskomponenten und Prozeßwahrnehmung über medial unterschiedliche, technisch-transformierte Indikatoren zur Rückkopplung der Information aus dem laufenden Prozeß an den Maschinenführer "vor Ort". Damit ist also ein ganzheitliches Konzept für technische Funktionselemente gefordert, das ein prozeßnahes Arbeiten als Einheit von Prozeßsteuerung und -wahrnehmung unterstützen soll.

Mit einem Funktionskonzept für ein Prozeßführungsmodul, wie im folgenden skizziert und in Bild 3.30 dargestellt, sollen im Sinne eines Systemkonzeptes der gesamte Funktionsumfang und die darauf bezogenen Funktionselemente beschrieben werden. Gleichzeitig wird damit eine konzeptionelle Einbindung der oben beschriebenen Einzelkomponenten zur Unterstützung von Prozeßtransparenz und Prozeßregulation ermöglicht.

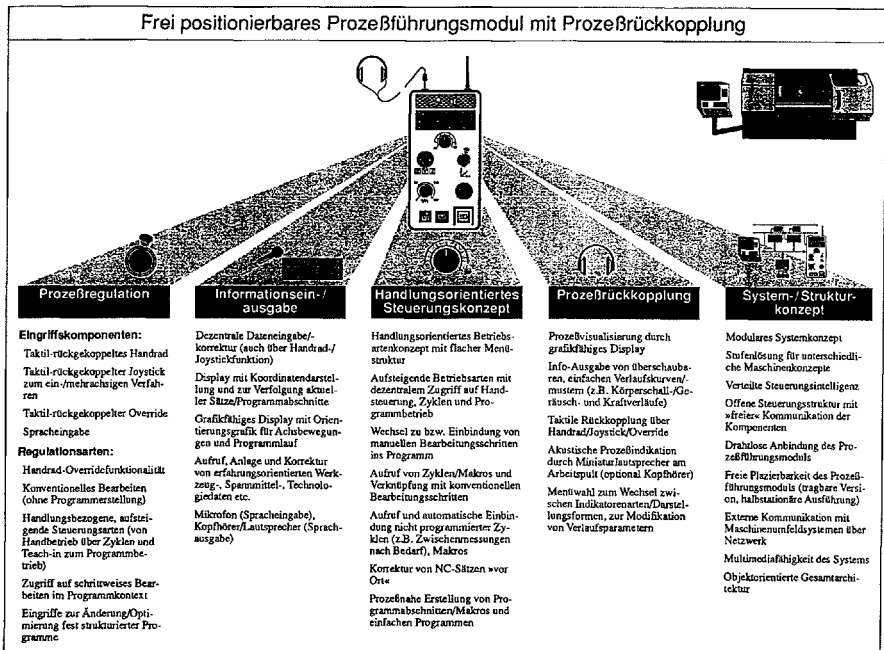
Ausgehend von diesem Gesamtkonzept können prozeßnahe Arbeitsmodule für ein Spektrum unterschiedlicher Maschinen- und Steuerungskonzepte durch auf den Einsatzfall bezogene Kombination der modular konzipierten Funktionskomponenten konfiguriert werden.

## Eingriffsorientierte Prozeßregulation

Dieser Typus von direkter Steuerungstätigkeit soll im Sinne einer prozeßnah angebotenen Steuerungsfunktionalität als Einheit von Regulationsarten und dazu adäquaten Eingriffskomponenten konzipiert sein und gleichzeitig ermöglichen, über taktile Rückkopplung von Kraft- bzw. Körperschallverläufen auf Handrad, Joystick und Override, das "Gespür" für den laufenden Prozeß "in die Hand" des steuernden Werkers zu legen.

Über die bisher z.T. verfügbaren Handrad-/Override-Funktionalitäten sollen daher diejenigen prozeßnah wählbaren Regulationsarten zusätzlich verfügbar sein, die

- ein konventionelles Bearbeiten auch ohne Programmerstellung anbieten;
- ein an der konventionellen Bearbeitungsweise orientiertes, schrittweises Bearbeiten als optionale Betriebsart im Programmkontext bzw. als alternative Betriebsart ermöglichen;
- als handlungsbezogene, konzeptionell aufeinander abgestimmte Steuerungsarten in ein aufsteigendes "Betriebsartenkonzept" (von Handbetrieb über Zyklen und Teach-in zum Programmbetrieb) eingebettet werden können und
- ebenso Handeingriffe zur Änderung bzw. Optimierung fest strukturierter Programme erlauben.



**Bild 3.30:** Frei positionierbares Prozeßführungsmodul mit Prozeßrückkopplung

Als Eingriffskomponenten, die diesem Funktionskonzept zur Handsteuerung gerecht werden können, kommen die im CeA-Verbund erprobten Funktionselemente, wie der taktil-rückgekoppelte Joystick (ggf. auch zum mehrachsigen Verfahren) und das ebenso rückgekoppelte Handrad bzw. der Override-Drehschalter in Frage. Diese sind - wie oben aufgezeigt - multifunktional konzipiert auch zum direkten Eingriff in Programmabschnitte bzw. zur manuellen Erstellung einfacher Programmfolgen oder Makros im Sinne eines Record-Playback-Betriebes geeignet.

Als Alternative zu den Handeingabekomponenten kann auch eine Spracheingabe vorgesehen werden, die es optional über Mikrofon erlaubt, Steuerungsfunktionen bearbeitungsorientiert und prozeßnah verbal "aufzurufen" und zu beeinflussen (siehe Kapitel 3.3.2 Regulation mittels Spracheingabe).

Entscheidend für eine benutzerfreundliche Handsteuerung bleiben die systematische Gestaltung zur prozeßnahen Nutzung und die Entwicklung eines auf die vielfältigen Bearbeitungsstrategien des Maschinenführers gerichteten "Betriebsartenkonzeptes".

Bezüglich der z.Zt. noch notwendigen Einbaugröße der genannten Funktionselemente wäre eine weitere Miniaturisierung zu überprüfen, um z.B. auch einen taktil-rückgekoppelten Joystick in tragbare Versionen des Prozeßführungsmoduls einzusetzen. Jedenfalls steht einem Einsatz solcher Komponenten in den genannten halbstationären Arbeitspulten (schwenkbar/verfahrbar) konstruktiv nichts wesentliches im Wege. Darüber hinaus ist eine auf den praktischen Einsatzfall und das jeweilige Maschinensystem ausgerichtete Funktionseingrenzung von Einzelkomponenten sinnvoll, so daß auch bautechnisch weniger aufwendige Handsteuerungselemente prozeßnah zur Verfügung stehen.

### **Informationsein- und -ausgabe**

Hierbei geht es zunächst um eine Erweiterung von dezentralen Dateneingabe- und -korrekturmöglichkeiten, wobei auch die Handsteuerungselemente Handrad und Joystick als zur üblichen Tastatureingabe alternative Eingabekomponenten nutzbar sein sollten. Die prozeßnahe Datenausgabe sollte über eine Darstellung der Maschinenkoordinaten auf einem Display hinaus auch aktuelle Sätze bzw. Programmabschnitte anzeigen sowie einfache Orientierungsgraphiken für die Achsbewegungen und den Programmablauf ermöglichen. Darüber hinaus sollten der Abruf, die Anlage und die Korrektur selbst erstellter und in der Steuerung abgelegter erfahrungsorientierter Daten (z.B. Technologie-, Werkzeug-, Spannmitteldaten usw.) auch über das dezentrale Prozeßführungsmodul möglich sein.

Als Ein- und Ausgabekomponenten kommen neben Handrad und Joystick, ein grafikfähiges Display, ein Mikrofon zur Spracheingabe und ein am Arbeitspult integrierter Miniaturlautsprecher zur Ausgabe von Sprache und anderen Audio-Informationen in Frage.

### **Handlungsorientiertes Steuerungskonzept**

Für den geforderten Wechsel von der Handsteuerung zu den programmorientierten Betriebsarten ist eine entsprechend systematisch-benutzerori-

enterte, hard- und softwareergonomisch gestaltete Betriebsartenkonzeption Voraussetzung, um den einfachen Wechsel von Betriebsarten bzw. die Einbindung von "manuellen" Bearbeitungsschritten in ein Programm zu ermöglichen. Dabei geht es im Unterschied zu den bisher dafür eingesetzten, EDV-technisch orientierten komplexen Benutzungsoberflächen um überschaubare, eingegrenzte Betriebsarten in flachen Menüstrukturen, die über einfach ausgelegte Wahlschalter, Tasten oder Sprachkommandos abrufbar sind. Zyklen und Makros können somit vor Ort "aufgerufen" und mit konventionellen Bearbeitungsschritten verknüpft werden. Außerdem sollten im Rahmen des Programmbetriebs auch vor Ort die Einbindung nichtprogrammierter Zyklen (z.B. Zwischenmessungen), die Erstellung von Programmabschnitten, Makros und einfachen Programmen sowie die Korrektur von NC-Sätzen möglich sein.

### **Prozeßrückkopplung**

Der Funktionsumfang zur Prozeßrückkopplung an einem positionierbaren Arbeitspult soll eine ganzheitliche Wahrnehmung durch verschiedene Sinneskanäle prinzipiell ermöglichen und optional abrufbar machen.

Über die schon aufgeführte taktile Rückkopplung bei Handrad, Joystick und Override-Drehschalter hinaus soll ein grafikfähiges Display zur Prozeßvisualisierung genutzt werden, das sich allerdings beschränken sollte auf die prozeßnahe Darstellung von leicht überschaubaren, einfachen Verlaufskurven, -mustern, -grenzen oder andere Orientierungsgraphiken. Darüber läßt sich eine visuelle Rückkopplung von Körperschall-, Geräusch- bzw. Kraftverläufen erreichen.

Eine direkte akustische Indikation am jeweiligen Standort des Maschinenführers hat - so belegen alle bisherigen Befunde - einen zentralen Stellenwert und kann über den schon genannten Miniaturlautsprecher (zur groben Orientierung) und über einen anschließbaren Kopfhörer (zur gezielten Feinorientierung) realisiert werden.

Da ein gezielter Wechsel zwischen unterschiedlichen Prozeßindikatoren bzw. Darstellungsformen eine ebenso zentrale Bedeutung für ein prozeßnahes Arbeiten hat, sollte ein entsprechender Wechsel und eine Modifikation von Verlaufsparemtern (z.B. selbst definierte Grenzbereiche usw.) leicht über Menüwahl am Modul möglich sein.

### **Strukturkonzept**

Der CeA-Ansatz zur technischen Unterstützung prozeßnaher Arbeit erfordert ein auf

- eine dezentrale Steuerungsfunktionalität,
- eine offene Konfigurierbarkeit und Gestaltbarkeit sowie
- eine "freie" Kommunikation

ausgerichtetes Strukturkonzeptes des gesamten Hard- und Softwaresystems.

Eine offene anwender- und benutzerbezogene Konfigurierbarkeit und Gestaltbarkeit dieser Handsteuerungsmodule ist allerdings im Rahmen der marktgängigen geschlossenen CNC-Systeme nicht möglich (Ligner und



Striepe 1993). Denn Hauptdefizit derart geschlossener Systeme bleibt aus erfahrungsgeleiteter Sicht, daß eine Integration von Zusatzkomponenten zur Prozeßrückkopplung, z.B. taktiler Art, über Geräusche oder Bildfolgen in ein auf die NC-Funktionalität begrenztes geschlossenes Steuerungssystem nicht möglich ist, im Einzelfall nur über relativ aufwendige Parallelsysteme zur Verarbeitung dieser Signalverläufe. Steht darüber hinaus die Frage nach einer wahlweisen Integration solcher Komponenten in Steuerungskonzepte unterschiedlicher Hersteller und Maschinentypen ebenso differenzierter Maschinenhersteller, bleibt als Antwort nur das Strukturkonzept einer "offenen Steuerung".

Ein funktionsorientiert strukturiertes, modulares Systemkonzept mit einer verteilten Steuerungsfunktionalität am Maschinensystem setzt eine offene Steuerungsstruktur voraus, die mit "freier" Kommunikation der Subsysteme und Komponenten, möglichst drahtloser Datenübertragung und beliebiger Plazierbarkeit des Handmoduls sowie auch mit der Möglichkeit, problemlos mit externen Maschinenumfeldsystemen kommunizieren zu können, verbunden ist.

Darüber hinaus ist, um die sinnliche Wahrnehmung vor Ort mit den verschiedenen Sinneskanälen - wenn nicht mehr direkt, dann technisch vermittelt - zu gewährleisten, die Anforderung nach der Multimediafähigkeit der Steuerung zu stellen. Nur mit einer CNC-Steuerung als Multimedia-Plattform ist eine Integration unterschiedlicher Medien in einen Prozeßführungsmodul ohne komplizierte und kostenträchtige Umwege über spezialisierter Zusatzsysteme möglich.

Wenn eine offene Werkzeugmaschinensteuerung als universell ausgerichtete Hard- und Softwareplattform zusätzlich auch multimediafähig ist, so daß sie neben der systemtechnischen Einbindung von taktilen Rückkopplungskomponenten auch eine erweiterte visuelle und audioteknische Unterstützung der sinnlichen Wahrnehmung ermöglicht (Ligner und Striepe 1993), dann ist eine dezentrale Prozeßsteuerungsfunktionalität mit Rückkopplungskomponenten soweit verknüpfbar, daß sie es dem Maschinenführer ermöglicht, den Prozeß vor Ort nicht nur taktil mit der Hand zu steuern, sondern ihn auch ganzheitlich wahrzunehmen.

### 3.3.2 Regulation mittels Spracheingabe

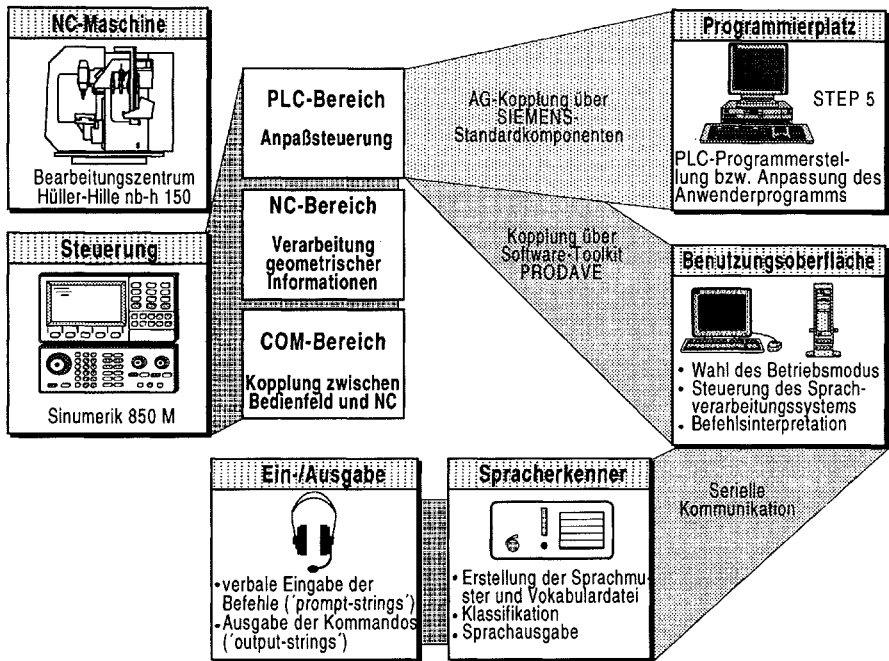
Peter Ligner, FGAT Berlin und Robert Mertens, WZL Aachen

Als Alternative zu den erwähnten handlungsorientierten Eingabekomponenten besteht die Möglichkeit, für die Realisierung einer direkten Kommunikationsform die rechnergestützte Spracherkennung an CNC-Werkzeugmaschinen zu nutzen. Im Rahmen der Bearbeitung projektbezogener Fragestellungen wurde als Untersuchungsziel formuliert, inwieweit die sprachgesteuerte Eingabemöglichkeit an CNC-Werkzeugmaschinen als technische Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit eingesetzt werden kann.

Aus technischer Sicht wurde ein Gesamtsystem bestehend aus Spracherkennungs- und Sprachausgabesystem, einer Werkzeugmaschinen-



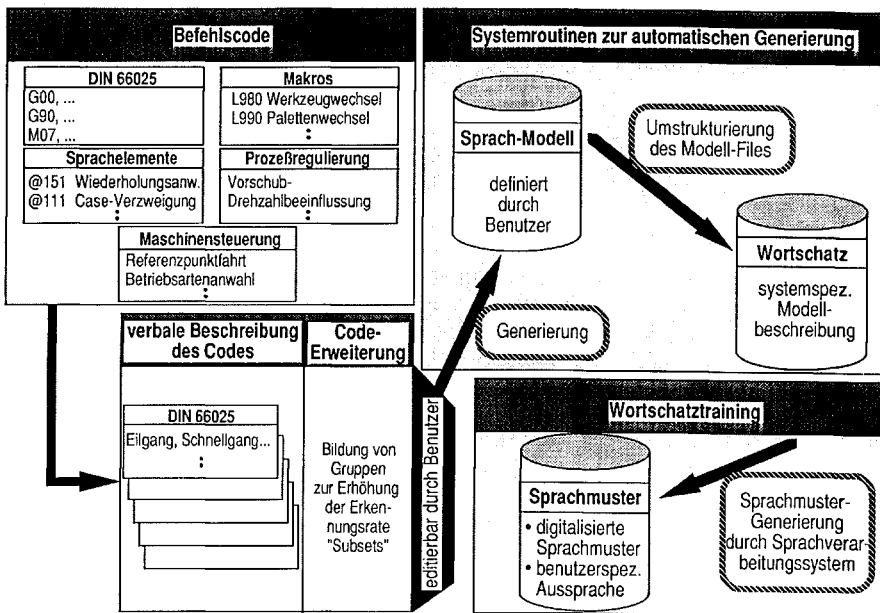
steuerung (SINUMERIK 850M) sowie einem PC für den erforderlichen Datenaustausch zwischen den Teilsystemen konzipiert. Für eine detaillierte Betrachtung sind die jeweiligen Teilsysteme in Bild 3.31 dargestellt.



**Bild 3.31:** Überblick über die verwendeten hardwaretechnischen Funktionseinheiten

Der Benutzer erhält nach Erstellung der sprecherabhängigen Sprachmuster- und Vokabulardateien für die jeweiligen Betriebsmodi der Steuerung (Einrichten, MDI- und Automatikbetrieb) die Möglichkeit, eine verbale Aktivierung verschiedener Funktionen durchzuführen. Als Voraussetzung für die korrekte Befehlsinterpretation bzw. die Aktivierung der steuerungsinernen Funktionen ist eine Anpassung des Maschinenprogramms im PLC-Bereich der numerischen Steuerung durchzuführen. Das bedeutet, daß die zu realisierenden Funktionen, die an anderer Stelle noch ausführlich beschrieben werden, vorbereitend im Anwenderprogramm implementiert werden müssen. Als Beispiel hierfür sei der Funktionsaufruf für die Programmmanwahl erwähnt, der es ermöglicht, parametergesteuert ein steuerungsintern archiviertes NC-Programm über den PLC-Bereich zu aktivieren. Zur Laufzeit des Gesamtsystems werden die jeweiligen Steuerbefehle ausgehend vom PC über ein spezielles Software-Toolkit für die Kommunikation mit externen Komponenten an die Anpaßsteuerung übertragen.

In Abhängigkeit der verbal steuerbaren Funktionalität legt der Benutzer zu Beginn der Befehlseingabe in Form eines Sprachmodells fest, welche verbale Beschreibung für die Befehlscodes verwendet werden sollen (Bild 3.32). Bei diesem Modell ergibt sich für den Benutzer theoretisch keine Einschränkung in bezug auf die Anzahl der gewählten Beschreibungen. Aus praktischer Sicht unterliegt die Wortwahl lediglich der Kapazitätsgrenze des hier verwendeten Spracherkennungssystems. Nach der Definition des benutzerspezifischen Sprachmodells für die unterschiedlichen Betriebsarten der numerischen Steuerung erfolgt eine automatische Umstrukturierung der Modelldaten in eine systemspezifische Modellbeschreibung in Form eines Wortschatzes.



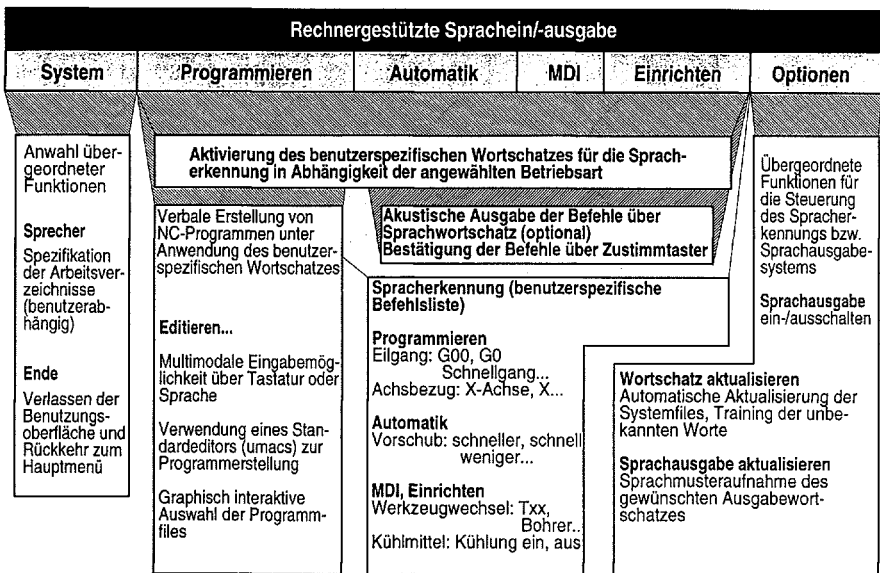
**Bild 3.32:** Systeminterne Informationsverarbeitung

Diese Maßnahme ermöglicht es, eine einfache Schnittstelle zum Benutzer zu schaffen, wobei für die benutzerspezifische Konfiguration des Gesamtsystems keine Kenntnisse über systeminterne Verarbeitungsalgorithmen vorausgesetzt werden. Die hier entwickelte Lösung gestattet die Eingabe des Sprachmodells unter Verwendung eines Standard-Texteditors, so daß die textuelle Erstellung ohne Aufwand realisiert werden kann. Für die Realisierung des Erkennungsbetriebs ist es erforderlich, daß das definierte Sprachmodell bzw. der sich hieraus ergebende Wortschatz in einer dem Spracherkennungssystem verständlichen Form - der Sprachmusterdatei - vorliegt. Über die implementierte Software im PC wird geprüft, ob diese erforderliche Betriebsdatei in der jeweils aktuellen Form vorliegt. Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt - beispielsweise aufgrund einer Ände-

rung des Sprachmodells - wird der Benutzer aufgefordert, die dem System unbekannten Worte zu trainieren. Nach Abschluß dieser Trainingsphase werden die erforderlichen Dateien aktualisiert und im PC-Steuerungssystem archiviert.

Der Einsatz der Sprachausgabe - für den Benutzer ein Hilfsmittel zur Überprüfung der vom Sprachverarbeitungssystem erkannten Worte - setzt voraus, daß die Worte des Sprachmodells ebenfalls trainiert werden. Im Gegensatz zur Spracherkennung ist eine mehrfache Wiederholung der gesprochenen Worte zwecks Steigerung der Erkennungssicherheit jedoch nicht erforderlich. Darüber hinaus wird für eine Reduzierung der Wortanzahl im Sprachausgabesystem lediglich die verbale Beschreibung des Befehlscodes durch den Benutzer aufgenommen, digitalisiert und archiviert. Sämtliche Funktionen zur Sprachaufnahme werden wiederum über die Benutzungsoberfläche des PC automatisch gesteuert und erfordern keine Systemkenntnisse von seiten des Benutzers.

Für die Systeminteraktion steht dem Benutzer der in Bild 3.33 dargestellte Funktionsumfang zur Verfügung.



**Bild 3.33:** Benutzungsschnittstelle für die rechnergestützte Sprachein- und -ausgabe

Als Ergänzung zu den bereits erwähnten Betriebsmodi der Maschinensteuerung ergibt sich für den Benutzer die Möglichkeit, für die Erstellung

von NC-Programmen ebenfalls die direkte verbale Eingabe zu nutzen. In Verbindung mit einer Tastatur lassen sich somit multimodale Eingabeformen für das Editieren von NC-Programmen realisieren. Unter dem Menüpunkt "Optionen" können übergeordnete Funktionen für die Steuerung des Spracherkennungs- und Sprachausgabesystems aktiviert werden. Hierbei können sowohl der Wortschatz für den Erkennungsbetrieb als auch der Ausgabewortschatz für den Betrieb mit Sprachausgabe aktualisiert werden. Über die Aktivierung bzw. Deaktivierung der Sprachausgabe wird ebenfalls festgelegt, welche Form der Rückkopplung - akustisch mittels Sprachausgabe oder visuell über die Statuszeile des Bildschirms - mit der Spracherkennung verknüpft ist. Mit der Anwahl der verschiedenen Betriebsmodi "Automatik", "MDI" oder "Einrichten" über die entsprechende Menüzeile wird der zugehörige Befehlsumfang aktiviert. Bevor jedoch eine Befehlsübergabe an die CNC-Werkzeugmaschine erfolgt, ist von seiten des Benutzers eine Befehlsbestätigung mittels Zustimmungstaster erforderlich. Aus sicherheitstechnischen Gründen kann somit im Falle der Fehlererkennung, die über die akustische oder visuelle Kontrollmöglichkeit erfaßt werden kann, ein Abbruch der Steueranweisung erzielt werden.

Die Ergebnisse der Versuchsreihen zur rechnergestützten Sprachein- und -ausgabe sind in Kapitel 3.4.3 dargestellt.

### **3.4 Erprobung kombinierter Funktionsbausteine zur Unterstützung von Prozeßtransparenz und Prozeßregulation**

Robert Mertens, WZL Aachen und Roland Ruppel, PTW Darmstadt

Das Prinzip erfahrungsgeleiteter Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen wird technisch am besten unterstützt, wenn Arbeitskräfte mehrere Funktionsbausteine kombiniert einsetzen können und diese Bausteine unterschiedliche Sinneskanäle ansprechen.

Im CeA-Forschungsverbund hat es zwei ausführliche Versuchsreihen mit prototypischen Lösungsmustern gegeben. Eine Versuchsreihe fand im PTW der Technischen Hochschule Darmstadt statt. Es waren Fertigungsaufgaben mit einer Drehbearbeitung zu bewältigen, bei denen eine direkte Sicht auf das Werkstück gegeben war und ein kraftrückgekoppelter Override-Drehschalter sowie ein Kopfhörer zur akustischen Wiedergabe von Körperschall eingesetzt wurden. Eine zweite Versuchsreihe fand im WZL der RWTH Aachen statt. Hier waren Fertigungsaufgaben mit einer Fräsbearbeitung zu lösen, bei denen ebenfalls eine direkte Sicht zum Werkstück gegeben war und ein kraftrückgekoppelter Joystick sowie ein Kopfhörer zur Wiedergabe von Körperschall verwendet wurden. Beide

Versuchsreihen wurden zusätzlich auch im CNC-Zentrum Hamburg durchgeführt.

### 3.4.1 Erfolgreiche Erprobung bei der Drehbearbeitung

Für eine erste Beurteilung des Einsatzes kombinierter neuer CeA-Funktionsbausteine bei der Bewältigung von Fertigungsaufgaben zur Drehbearbeitung wurde eine Versuchsreihe im PTW durchgeführt. Zum Einsatz kamen Kopfhörer zur Wiedergabe von Körperschall und ein kraftrückgekoppelter Override-Drehschalter. Die Arbeitsaufgaben lagen im Bereich "Programmeinfahren" sowie "Überwachen". Es sollten längere Wellen mit unterschiedlich zähen Werkstoffen mit neuen wie auch stark abgenutzten Schneidplatten gedreht werden. Diese Versuche wurden im CNC-Zentrum Hamburg zur Erweiterung der Aussagesicherheit der Ergebnisse fortgesetzt. Darüber hinaus wurde ein Langzeittest in einem Betrieb durchgeführt. Die nachfolgende Darstellung der Bewertung umfaßt Aspekte möglicher arbeitstechnischer und arbeitspsychologischer Effekte wie auch die aus den Versuchen hervorgegangenen Modifikationsansätze.

#### (1) Steigerung der Prozeßnähe durch Vermittlung von Körperschall

Beim Einsatz des Körperschalls ergaben erste Versuche, daß eine optional wählbare Ausgabe über Kopfhörer oder Lautsprecher von den Facharbeitern allgemein positiv beurteilt wurde. Bedingungen, wie etwa der allgemeine Schallpegel in der Halle, der zu einem nur undeutlichen Hören der Geräusche über Lautsprecher führen kann, oder die räumliche Nähe zu anderen Maschinen (hier könnte sich der Kollege gestört fühlen) und auch unterschiedliche Bearbeitungsabschnitte (Lautsprecher zum Ankratzen und Kopfhörer beim Einfahren) waren Rahmenfaktoren, die bei der individuellen Wahl der Ausgabe (Lautsprecher oder Kopfhörer) Einfluß genommen hatten. Entgegen der vorab angenommenen Vermutung, daß Kopfhörer wegen der zusätzlichen Belastung abgelehnt werden könnten, äußerten sich die befragten Facharbeiter bei den entsprechenden Versuchen überraschend positiv. Nachdem die individuellen Einstellungen der Frequenzbreiten über die "Höhen"-, "Mitten"- und "Tiefen"filterung abgeschlossen waren, konnten folgende konkrete Aussagen und Ergebnisse festgehalten werden:

- Sofort deutlich wurde die Unterstützungsqualität des Körperschalls beim Ankratzen. Nach kurzem Ausprobieren waren die Facharbeiter in der Lage, aufgrund des übermittelten Geräuschs "spanfrei" anzukratzen. Im Langzeitversuch war nach Aussage des betreffenden Facharbeiters ein "genaueres" Ankratzen möglich, wodurch der Korrekturaufwand minimiert werden konnte. Je nach persönlicher Vorliebe wurde auch eine Zuschaltung per Lautsprecher vorgezogen, um das Geräusch im Hintergrund permanent hören zu können.

- Ebenfalls nach nur kurzen Übungszeiten konnten die Facharbeiter bereits unterschiedliche Bearbeitungsvorgänge wie Bohren, Schlichten und Schruppen sowie differenzierte Zerspanungsabläufe wie Fließ- und Bröckelspäne dem übertragenen Geräuschespektrum entnehmen. Dies wird exemplarisch an folgendem Interviewauszug anschaulich deutlich:  
*"Ja, ich finde, das ist eine gute Sache. Ich arbeite recht viel damit, gerade beim Einrichten, aber auch beim Einfahren. Auch Verschleiß kann man besser feststellen, z.B. bei der Bearbeitung von Stahl, wo die Geräusche am intensivsten sind. Wenn ich jetzt irgendwie was nicht sehe, und ich wissen will, ob der Fräser nun vernünftig schneidet oder nicht, dann mache ich das Ding eben an, und dann weiß ich es, dann höre ich das ja, ob er vernünftig schneidet oder nicht."*
- Ein Zwischenergebnis aus dem Langzeitversuch ist eine zunehmende Bedeutungserkennung von Geräuschen mit der Dauer des Einsatzes bzw. der Nutzung des Körperschallsensors. Wie sich Erfahrungen mit dem Körperschall bilden, verdeutlicht die folgende Äußerung:  
*"Ja, einmal hab ich Messing bearbeitet, und dann war so'n komisches, spanendes Geräusch, das ich vorher noch nie gehört hatte, nee, da hab ich dann im nachhinein festgestellt, daß das nicht so gesund war für das Werkzeug, da war die Platte weggebrochen. Das sind alles so Erfahrungswerte, die man sammelt. Nächstes Mal würde ich dann sagen, mach ich den Vorschub langsamer, damit die Platte länger hält."*
- Deutlich wird ebenfalls ein Effekt bezüglich des Optimierens von Schnittwerten. Gerade ein Herantasten an obere Grenzen wird durch den Körperschall erstaunlich gut unterstützt. So fährt der Facharbeiter jetzt nach eigener Einschätzung beispielsweise beim Schruppen mit höheren Schnittwerten.
- Der kurzzeitige Einsatz eines Kopfhörers unterstützt die erforderliche Konzentration, etwa beim Einfahren. Die befragten Facharbeiter favorisierten übereinstimmend eine situationsabhängige, zeitweise und selektive Nutzung des Kopfhörers während des Einfahrens oder bei "kritischen" Situationen im Laufe der Prozeßüberwachung.
- Übereinstimmend schilderten die Facharbeiter eine empfundene Nähe zur Bearbeitung, die sich in Äußerungen, wie *"als läge ich mit dem Ohr auf der Schneide"*, exemplarisch zeigt. Im Vergleich zur konventionellen Drehmaschine sei man jetzt noch "dichter" am Ort des Werkzeugeingriffs. Bei der konventionellen Werkzeugmaschine sei man etwa einen Meter entfernt gewesen. Die empfundene kürzere Nähe wird als unterstützend gewertet, *"um so besser kann man das einschätzen"*, was an der Übergangsstelle zwischen Werkzeug und Werkstück passiert.
- Es stellte sich ein unerwarteter Effekt auf psychologischer Ebene ein. Durch ein differenzierteres Hören wird eine größere subjektive Sicherheit über das augenblickliche Prozeßgeschehen empfunden. Diese größere "Sicherheit" korreliert stark mit der Vorgehensweise von Facharbeitern des "Sich-heran-Tastens" bei komplexen Arbeitsvorgängen sowie des "Auf-der-sicheren-Seite-Bleibens" und erweist sich insbe-



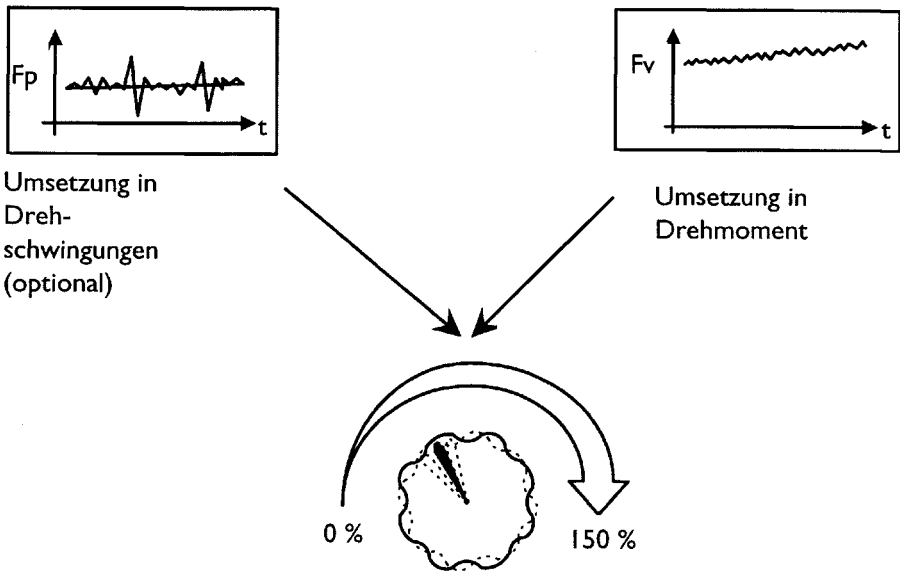
sondere beim "Ankratzen" oder beim Einfahren neuer Teile als vorteilhaft. Der Zerspanungsprozeß wird durch den Körperschall transparenter, der Facharbeiter erhält mehr Informationen über den Ablauf der Zerspanung. Die Geräuschbarriere "Kapselung" wird mittels dieser technischen Komponente verringert.

## **(2) Erhebliche Verbesserung des Zugriffs auf Bearbeitungsvorgänge**

Der kraftrückgekoppelte Override-Drehschalter ist aufgrund seiner vollständigen Neuheit nicht kurzfristig in den Bearbeitungsprozeß zu integrieren, weil z.B. das Merkmal "ruhiger Lauf" des Override-Drehschalters neu erkundet und als Erfahrung erworben werden muß. Zunächst wurde die technische Funktionsweise des kraftrückgekoppelten Override-Drehschalters den Facharbeitern vermittelt. Die virtuose Anwendung bedarf des Aufbaus eines Gefühls für die Art der taktilen Rückkopplung in der Hand. Das heißt, der Zusammenhang zwischen dem aktuell Erfühlten und den zugehörigen Merkmalen der Bearbeitung mitsamt ihren Kräften ist ein neu zu erlernendes Wechselspiel. Erfahrungswerte mit dem kraftrückgekoppelten Override-Drehschalter zu sammeln, benötigt den praktischen Gebrauch über einen längeren Zeitraum in unterschiedlichen Situationen.

Durch die 1:1-Übertragung des Haltemoments des Schrittmotors auf den Drehschalter wird bei steigendem Haltemoment auch die charakteristische Motorraisterung spürbar. Dies verfälscht den Eindruck des proportional zur Vorschubkraft steigenden Drehmoments erheblich und erschwert eine erste Erfahrungsbildung.

Der Indikator "ruhiger Lauf" wurde deshalb in die Modifikation aufgenommen. Bezogen auf die CNC-Werkzeugmaschine bedeutet dies, nicht nur die Vorschubkraft zu messen, sondern auch die Passivkraft als aussagefähige Kenngröße und damit als Referenz für die taktil-kinästhetische Rückkopplung. Durch die Messung der Passivkraft können Schwingungen zwischen der Schneide und dem Werkstück aufgenommen werden. In einem entsprechenden Prototyp schwingt dabei der Override-Drehschalter optional rotatorisch um seinen eingestellten Wert. Die Schwingungsamplituden können vom Facharbeiter innerhalb eines Toleranzbandes eingestellt werden. Die Breite des Toleranzbandes ist so ausgelegt, daß der eingestellte Overridewert nicht durch die Schwingungen beeinflusst wird. Die Frequenz der Drehschwingungen ist proportional der gemessenen Passivkraft (siehe Bild 3.34).



**Bild 3.34:** Kraftrückgekoppelter Override-Drehschalter

Dieser Prototyp wird gerade in ersten Versuchen von Facharbeitern getestet.

Ein Override-Drehschalter mit dieser Funktionalität soll dem Facharbeiter die aufgrund der elektronischen Steuerung verlorengegangenen Informationen (Wirkung der Passivkräfte als Schwingungen) wieder zur Verfügung stellen. Die Vorschubgeschwindigkeit könnte dann im wahrsten Sinne des Wortes "nach Gefühl" eingestellt und optimiert werden. Gerade das Längsdrehen langer Wellen oder anderer schwingungsanfälliger Werkstücke würde - nach ersten Aussagen von Facharbeitern - entscheidend optimiert werden können.

Die getesteten Komponenten setzen das Konzept der erfahrungsgeleiteten Arbeit in erste technische Funktionsbausteine für Drehmaschinen um. Sie stellen eine analoge Unterstützung der multimodalen Wahrnehmung relevanter Prozeßmerkmale und ihrer Verläufe dar. Sie ermöglichen damit differenzierte on-line-Eingriffe in den laufenden Bearbeitungsprozeß und geben dem Facharbeiter eine größere Sicherheit für seine Entscheidungen.

Eine Perspektive für die Konzeption von CNC-Werkzeugmaschinen liegt nach diesen Erkenntnissen darin, dem Facharbeiter die Führung der CNC-Werkzeugmaschine wieder in die eigenen Hände zu legen. Dies ist als wesentlicher Schritt in die Zukunft zu verstehen, insbesondere unter dem Aspekt der Zielvorstellung des eigenverantwortlich handelnden Mit-

arbeiters, wie es auch in der Diskussion zur "Lean production" gefordert wird. Handräder oder Joysticks haben ihre Bedeutung nicht aus nostalgischen Gründen. Durch das Drehen am Handrad ist der Maschinenführer aktiv in den Fertigungsprozeß integriert. Das Zur-Verfügung-Stellen von technischen Optionen bedeutet eine bewußte Abkehr vom bisherigen Leitbild des "Knöpfchen-Drückens" und des "Bedienens" von Werkzeugmaschinen.

### 3.4.2 Erfolgreiche Erprobung bei der Fräsbearbeitung

Die zuvor in Kapitel 3.2 und 3.3 erläuterten technischen Systeme zur akustischen Informationsverarbeitung und -darstellung (z.B. Wiedergabe von Körperschall über Kopfhörer) sowie zur manuellen Prozeßführung (z.B. mit Hilfe eines Joysticks) wurden für eine erste Beurteilung im Rahmen von Laboruntersuchungen am WZL und zu weiteren Tests im CNC-Zentrum Hamburg bei Aufgaben zur Fräsbearbeitung eingesetzt (Mertens, Rose und Ligner 1993).

Im Hinblick auf die Durchführung praktischer Versuchsreihen stand die Anwendung der akustischen Informationsaufbereitung für eine programmgesteuerte Fräsbearbeitung sowie bei Situationen im Einrichtbetrieb im Vordergrund. Anhand der Bewältigung typischer Arbeitsaufgaben sollte ermittelt werden, inwieweit diese technischen Komponenten die erfahrungsgeleitete Arbeit sowohl hinsichtlich der Tätigkeiten "Einfahren und Optimieren" sowie "Überwachen eines Fertigungsprozesses" als auch in bezug auf die Durchführung von "Ankratzprozeduren" unterstützt.

#### (1) Mehr Prozeßtransparenz durch akustische Informationsaufbereitung

Die an den Untersuchungen beteiligten Facharbeiter bewerteten die Möglichkeiten der akustischen Prozeßverfolgung bei der Fräsbearbeitung mittels Körperschall ebenso positiv wie bei der Drehbearbeitung. Insbesondere in den Situationen "Ankratzen" mit unterschiedlichen Werkzeugen sowie "Tasche ausräumen" unter Einsatz von Kühlschmiermittel stellt diese Informationsaufbereitung einen Gewinn dar, da der Werkzeug-Werkstück-Kontakt unmittelbar - auch für Werkzeuge mit geringen Durchmessern - wahrgenommen werden kann. Aus der Sicht der Facharbeiter ist auch der Gebrauch eines Kopfhörers als Wiedergabemedium durchaus akzeptabel, wenn dieser gezielt für die speziellen Arbeitsaufgaben verwendet wird.

Die selektive Vermittlung von Luftschall wurde zwar als Erkenntnisgewinn im Sinne eines orientierenden Hineinhörens in den Maschinenraum positiv bewertet, gleichwohl aber als alleinige Möglichkeit einer detaillierten Prozeßverfolgung als zu wenig aussagekräftig bezeichnet. Gleichfalls wurde die einfache gemischt-addierte Form (Körperschall und Luftschall) kritisch bewertet. Infolge des einfachen Zusammenmischens der Signalquellen im Wiedergabemedium war keine eindeutige Zuordnung zum jeweiligen Schallereignis mehr möglich.

Positiv hingegen wurde die richtungskodierte Signaldarstellung aufgenommen. Ein Vergleich der unterschiedlichen Darstellungsarten zeigte hier, daß eine Vermittlung der Informationsquellen entsprechend dieser Form als angenehm bezeichnet wurde. Darüber hinaus bleibt die Interpretationsmöglichkeit der einzelnen Informationsquellen tatsächlich erhalten. Insbesondere konnte in der Bearbeitungssituation "Einfahren" festgestellt werden, daß eine Beurteilung der gewählten Bearbeitungsparameter (Drehzahl und Vorschub) mit Hilfe des gesamten hörbaren Geräuschspektrums des Luft- und Körperschalls möglich erschien. Aus dem Spektrum des Luftschalls lassen sich nach Aussage der Facharbeiter zusätzliche Orientierungspunkte wie beispielsweise der Spanfluß (Größe und z.T. auch Form der Späne) oder die Geräusche der rotierenden Spindel für die akustische Prozeßverfolgung (Verfahrweg) heranziehen.

## **(2) Leichtere Prozeßbeherrschung durch manuellen Zugriff**

Die zuvor kurz beschriebenen kraftrückgekoppelten Stellelemente wurden in einem Laborversuch am WZL getestet. Hierfür stand ein Bearbeitungszentrum der Fa. Hüller-Hille vom Typ nb-h150, ausgestattet mit einer CNC-Steuerung SINUMERIK 850M der Fa. Siemens sowie einer maschinenintegrierten Sensorik für die Erfassung der Prozeßkräfte, zur Verfügung.

Das Untersuchungsprogramm umfaßte eine vergleichende Analyse der manuellen Steuerungsmöglichkeiten von Joystick, Handrad und Richtungstasten. Dabei wurden einfache Bearbeitungsoperationen, wie beispielsweise

- das Verfahren und Positionieren der Achsen,
  - das achsparallel manuelle Fräsen sowie
  - das Ankratzen
- durchgeführt.

Schon zu Beginn der Versuchsreihen zeigte sich, daß die Akzeptanz dem Joystick gegenüber aufgrund der leichten Handhabbarkeit sowie der selbsterklärenden Funktionsweise des Stellelementes unmittelbar gegeben war. *"Mit dem Joystick hat man das Gefühl, als hätte man die Maschine im Griff"* war dabei eine typische, mehrfach geäußerte Bewertung durch die Facharbeiter. Gegenüber dem Handrad wurde insbesondere die Richtungskompatibilität des Joysticks zu der jeweiligen Maschinenachse sowie das hieraus resultierende Raumgefühl herausgestellt. Die standardmäßige zur Verfügung stehenden Richtungstasten sind gegenüber dem Handrad hinsichtlich einer Vermittlung des Raumgefühls wesentlich abstrakter und wurden im direkten Vergleich mit den anderen Stellelementen völlig abgelehnt.

Diese positive Einstellung dem Joystick gegenüber konnte im Verlauf der weiteren Versuchsreihen noch eingehender bestätigt werden. Beispielsweise wurde das manuelle Positionieren der Achsen mit Hilfe des Joysticks gegenüber dem Handrad als einfach und zeitsparend bewertet. Darüber hinaus ist hinsichtlich des manuellen achsparallelen Fräsens ohne Kraftrückkopplung eine Bearbeitung erst mit Hilfe des Joysticks komfortabel möglich. Der Einsatz des Handrads wird für diesen Bearbeitungsfall

abgelehnt, da für die Erzielung einer für die Fräsbearbeitung notwendigen kontinuierlichen Achsenbewegung ein sensorisch feinabgestimmtes und kompliziertes Umgreifen des Handrads mit beiden Händen notwendig ist.

Die manuelle Bearbeitung - achsparallele Schruppbearbeitung - mit Krafrückkopplung erschien aus der Sicht der Facharbeiter zu Beginn sehr ungewohnt. Ihrer Meinung nach ist diese Möglichkeit zur Verbesserung der Prozeßtransparenz im Hinblick auf die manuelle Bearbeitung unterschiedlicher Werkstücke mit verschiedenen Werkzeugen *"wahrscheinlich sehr brauchbar"*. Um hier eine Klärung herbeizuführen, sind deshalb weitere Tests in der Betriebspraxis erforderlich, die diese Aussagen bestätigen (oder widerlegen).

Die Erweiterung der Steuerungsfunktionalität durch die Ankratzmöglichkeit mit kinästhetischer Rückkopplung ebenso wie die akustische Rückkopplung als Unterstützung bei der Feinregulierung, wurden als besonders positiv herausgestellt. Hinsichtlich der akustischen Rückkopplung wird ein optisch kaum wahrnehmbarer Vorgang technisch in den akustischen Bereich transformiert. Hierdurch kann ein ständiger Blickwechsel zwischen dem Monitor der Steuerung und dem Arbeitsraum der Maschine entfallen.

Abschließend ist festzuhalten, daß die akustische Informationsaufbereitung und manuelle Prozeßführung die erfahrungsgeleitete Arbeit technisch wirkungsvoll unterstützen. Höhere Prozeßtransparenz und verbesserte Prozeßführung lassen sich dabei insbesondere aus kombinierten Indikatoren und Stellelementen erzielen. Hervorzuheben ist, daß dadurch völlig neuartige Indikatoren sowie Ein- und Ausgabetechniken zur Ausschöpfung der Systemleistungspotentiale an CNC-Werkzeugmaschinen entstehen, wie sie bei konventionellen Werkzeugmaschinen nicht gegeben sind.

### **3.4.3 Erfolgreiche Erprobung von rechnergestützten Sprachein- und -ausgabemedien**

unter Mitarbeit von Peter Ligner, FGAT Berlin

Für die Durchführung von Versuchsreihen zur Erprobung von Sprachein- und -ausgabemedien mit Facharbeitern wurden verschiedene Befehle zur verbalen Steuerung der Werkzeugmaschine realisiert (Bild 3.35).

Im Hinblick auf die Auswertung der Versuchsreihen zur rechnergestützten Spracherkennung kann festgehalten werden, daß der Einsatzbereich dieser direkten Eingabemöglichkeit an CNC-Werkzeugmaschinen dann bevorzugt wird, falls sich Operationen am Eingabefeld der Steuerung durch eine verbale Eingabe effizienter - d.h. einfacher und schneller - gestalten. In diesem Zusammenhang sind überwiegend Aktionen des Benutzers im Einrichtbetrieb zu nennen (z.B. die Betätigung von Schaltern und Tastern für eine Palettenezuführeinrichtung, die räumlich entfernt von der Maschineneingabetafel angeordnet sind; das automatische Einwechseln von Werkzeugen usw.).

Einrichten	MDI	Automatik
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heben und Senken der palettenseitigen Schutzvorrichtung</li> <li>• Referenzpunktfahrt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ablegen und Einwechseln verschiedener Bearbeitungswerkzeuge</li> <li>• Einwechseln der Werkstückpaletten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwahl von CNC Programmen</li> <li>• Start und Stop der automatischen Bearbeitung</li> <li>• Beeinflussung des Drehzahl- und Vorschub-Overrides</li> </ul>

**Bild 3.35:** Überblick über die realisierten Steuerfunktionen in Abhängigkeit der Betriebsart

IAus arbeitswissenschaftlicher Sicht müssen zwei grundlegende Aspekte aus der Untersuchung hervorgehoben werden, die sich als Vorteile einer Sprachsteuerung an Werkzeugmaschinen erweisen könnten.

Im Unterschied zu Ansätzen, die Sprachverarbeitung als Mittel eines zwar sprachlich umgesetzten, aber dennoch rein technisch strukturierten und geführten Mensch-Maschine-"Dialogs" einsetzen, wurden in der dem Versuch zugrunde liegenden Konzeption sprachgesteuerte Eingabemöglichkeiten getestet, die einen direkten Zugriff auf Steuerungs- und Maschinenfunktionalität zulassen. Dabei wurde nicht ein das erfahrungsgeleitete Arbeitshandeln stark behindernder Umweg über starre, hierarchisch aufgebaute (ggf. auch sprachgestützte) Dialogstrukturen gewählt, sondern ein direktes Ansprechen von Funktionen realisiert und erprobt. Der prototypische Labortest mit Facharbeitern bestätigt, daß mit den dabei getesteten Grundfunktionen ein Typus von Arbeitshandeln unterstützt werden kann, bei dem es erforderlich ist, Steuerungsfunktionen bearbeitungsorientiert und prozeßnah unmittelbar "aufrufen" und beeinflussen zu können. In den Expertengesprächen mit den Facharbeitern wurde herausgearbeitet, daß dieser Aspekt ein besonderes Gewicht bei schlecht einsehbaren Prozeßabläufen und beim räumlich unüberschaubaren Zusammenwirken von Systemkomponenten (z.B. Werkzeugmagazine, Werkstückpalettensysteme) hat. So besteht z.B. bei Arbeitssituationen an Großmaschinen z.T. das Erfordernis, eine Kooperation "auf Zuruf" zwischen mehreren Arbeitspersonen zu praktizieren, um den Mangel einer dezentralen Steuerungsunterstützung zu überbrücken.

Während sich diese Formen sprachgestützter Regulation vorrangig auf Ansprache von Maschinenfunktionen in direktgeführten Prozeßabschnitten beim Einrichten und im MDI-Betrieb sowie auf eine entsprechende Drehzahl- und Vorschubkorrektur im Automatikbetrieb bezogen, wurden neben einer sprachlichen Aktivierung von Programmen auch Grundfunktionen einer sprachgestützten Programmierung entworfen und getestet.



Dabei deuten diesbezügliche Befunde des Labortests in eine ähnliche Anwendungsrichtung. Im dezentralen, prozeßnahen Einsatz erscheint es durchaus sinnvoll z.B. bei einer raschen Optimierung oder Korrektur von Programmen bzw. einer schnellen Einbindung von vor Ort erstellten Makros, eine Programmierung durch verbale Spracheingabe mit einem benutzerdefinierten Wortschatz vorzusehen.

Diese erprobten Anwendungsgrundrichtungen von sprachgestützter Regulation sind aber nicht aus dem multimodalen Wahrnehmungs- und Handlungsmuster erfahrungsgeleiteter Arbeit an Werkzeugmaschinen zu lösen. So sind über die im Versuch schon aus sicherheitstechnischen Gründen angebotenen Rückkopplungs- und Bestätigungsmöglichkeiten über Sprachausgabe stets auch medial unterschiedliche Formen der Prozeßrückkopplung vorzusehen. Darüber hinaus wurde von den Testpersonen eine Sprachsteuerung von Maschinenfunktionen stets als optionale Regulationsart verstanden und gefordert, daß sie in den oben erwähnten räumlichen Problembereichen oder kritischen Prozeßabschnitten zur Verfügung stehen sollte.

Um die rechnergestützte Spracherkennung als handlungsorientierte Eingriffskomponente zur Prozeßführung an Werkzeugmaschinen einsetzen zu können, bedarf es neben einer weiteren Spezifizierung des Konzepts und einer breiteren Erprobungsphase insbesondere der Einbindung in ein Benutzungskonzept mit dazu adäquaten Gesamtbenutzungsoberflächen, die multimediale Wahrnehmungsformen mit optionalen Regulationsarten verknüpfen.

#### **3.4.4 Weitere Entwicklungsmöglichkeiten von CeA-geprägten Ein- und Ausgabetechniken** unter Mitarbeit von Peter Ligner, FGAT Berlin

Die erprobten technisch vermittelten Geräuscharstellungen und -verläufe sind offenbar äußerst geeignete Indikatoren für eine detaillierte Prozeßverfolgung, da sie den Facharbeitern aktuelle Prozeßzustandsbewertungen ermöglichen, die verschiedene Aspekte wie Werkzeugeinsatz, Werkzeugkontakt, Werkzeugeinstellung sowie Werkzeugverschleiß im Zusammenhang berücksichtigen.

Im Rahmen von weiterführenden technischen Entwicklungen sind neben der kombinierten Darstellung des Luft- sowie Körperschalls Möglichkeiten zu suchen, weitere Informationsquellen einzubeziehen. Aus technischer Sicht ergeben sich hier Ansatzpunkte in Form einer transformierten akustischen Darstellung der im Prozeß auftretenden Bearbeitungskräfte (z.B. der Passivkräfte) sowie einer zeitversetzten Darbietung akustischer Aufzeichnungen aus Geräuschdateien.

Werden verschiedene Stellelemente verglichen, so stellt die kinästhetische Wahrnehmung einen adäquaten Zugang für eine Bewertung von und Orientierung an Bewegungsfolgen dar (d.h. Bewegungen bezogen auf einen festen Gegenstand oder im Nachvollzug einer Bewegungsbahn usw.). Der Joystick kann deshalb als Prototyp eines CeA-Elements zur

Prozeßführung eingestuft werden. Von besonderer Bedeutung ist die gleichzeitig von einer Arbeitskraft erfahrbare Geschwindigkeits- und Richtungskompatibilität (translatorische Bewegungssteuerung). Aus CeA-Sicht ist eine Kombination des Stellelements Joystick mit einer geeigneten CNC-Steuerung ein weiterer zukunftsweisender Schritt, um beispielsweise über Makros für Verfahrenswege auch komplexere Bearbeitungsoperationen durchzuführen.

Als besonderes technisches Hemmnis bei der Untersuchung zur Spracheingabe erwies sich, daß sich bei der eingesetzten Werkzeugmaschinensteuerung ein Zugriff auf den Kommunikationsbereich der Steuerung nicht realisieren ließ, so daß die ursprünglich geplante Erprobung eines sprachgestützten Zugriffs auf Steuerfeldfunktionen der CNC-Steuerung nicht realisiert werden konnte.

Die steuerungsseitige Öffnung dieses Bereiches wäre die Voraussetzung dafür, um in einem nächsten Schritt das erfolgversprechende Konzept einer sprachgestützten Menüsteuerung an CNC-Systemen zu erproben. Dieses Konzept könnte, mit der Möglichkeit der direkten "Ansprache" auch von Submenüs versehen, für eine Realisierung von hard- und softwaremäßig gestalteten "flachen" Menüstrukturen stehen. Darüber hinaus wäre auch der "Aufruf" separater im Anlagensystem eingebundener Steuerungssysteme und von weiteren Maschinenumfeldsystemen möglich.

Für den zukünftigen integrierten Einsatz von Sprachverarbeitungskomponenten an Werkzeugmaschinen erweist sich jedoch sowohl aus technischer als auch aus betriebsökonomischer und handlungsorientierter Sicht die Einbindung dieser Komponenten in eine offene, multimediafähige Werkzeugmaschinensteuerung als ein innovativer strategischer Lösungsansatz. Erst wenn eine technisch aufwendige Speziallösung - wie in diesem Fall zur Untersuchung erforderlich - durch ein integriertes technisches Systemkonzept vermieden werden kann, lassen sich die Chancen alternativer Eingriffskomponenten für erfahrungsgeleitete Arbeit nutzen und in ein Gesamtnutzungskonzept einbinden.

### 3.5 Wirtschaftlichkeit der Funktionsbausteine

Matthias Klimmer und Gunter Lay, FhG-ISI Karlsruhe

Die Entwicklung der in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten technischen Funktionsbausteine zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit erfolgte primär mit dem Ziel, die Möglichkeiten der Arbeitskräfte zu verbessern, Erfahrungswissen aus dem Arbeitsprozeß heraus aufzubauen bzw. vorhandenes Erfahrungswissen in der täglichen Arbeit nutzen zu können. Die dabei entstandenen Komponenten erfüllen diese Aufgabe einerseits über eine Erhöhung der Prozeßtransparenz und andererseits über eine umfassende Verbesserung zur Regulation der Bearbeitungsprozesse. Da mangelnde Prozeßtransparenz und unzureichende Prozeßeingriffsmöglichkeiten jedoch nicht nur den Aufbau und die Anwendung von Erfahrungswissen behindern, sondern - wie in Kapitel 2.5 gezeigt - auch ökonomische Nachteile mit sich bringen, stellt sich unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten die Frage, wie für die einzelnen Funktionsbausteine das Kosten-Nutzen-Verhältnis aussieht. Überwiegt der betriebswirtschaftliche Nutzen, bestehen gute Chancen, daß diese neuen technischen Komponenten trotz der damit verbundenen Kosten eine schnelle und breite Anwendung finden. Die Nachfrage von seiten der CNC-Anwenderfirmen kann in diesem Fall die Hersteller veranlassen, diese Zusatzinstrumentierung als Standardausrüstung oder optional in ihr Lieferprogramm aufzunehmen.

Um zur Abschätzung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses der verschiedenen Funktionsbausteine erste Anhaltspunkte zu gewinnen, wurden die entwickelten Prototypen in Labor- und Feldversuchen nicht nur arbeitswissenschaftlich bewertet, sondern auch im Hinblick auf ihren wirtschaftlichen Nutzen vom FhG-ISI bewertet. Parallel dazu wurde versucht, zu einer Einschätzung zu kommen, welche Zusatzkosten für die einzelnen Funktionsbausteine entstehen. Im folgenden sollen für die Funktionsbausteine

- Körperschallsensor,
- ROTOCLEAR sowie
- Joystick

die dabei gewonnenen Erkenntnisse zusammengeführt und dargestellt werden. Dabei kann es nicht vorrangig darum gehen, exakt quantifizierte Zahlenangaben herauszustellen. Sowohl auf der Nutzenseite wie auch auf der Kostenseite sind aufgrund des prototypischen Charakters der Funktionsbausteine noch zu viele Unsicherheiten, als daß eine solche Vorgehensweise zu endgültigen Ergebnissen führen könnte. Es muß vielmehr darum gehen, die Größenordnungen von Kosten und Nutzen einzugrenzen, um in einer Gegenüberstellung abklären zu können, ob es sich bei den einzelnen Funktionsbausteinen um Entwicklungen handelt, die auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten vielversprechend sind.

### (1) Körperschallsensor

Beim Körperschallsensor handelt es sich um eine technische Komponente, mit deren Hilfe die Transparenz des Bearbeitungsprozesses für die Arbeitskräfte verbessert wird. Um diesen Funktionsbaustein zu realisieren, muß der Körperschall erfaßt, verstärkt und der Arbeitskraft übermittelt werden. Der hierfür entwickelte Prototyp, bestehend aus Beschleunigungssensor, Vorverstärker, Verstärker und Kopfhörer, erfordert Materialkosten, die sich auf ca. DM 750,- belaufen. Dabei wird von einer leitungsgebundenen Übertragung ausgegangen, da eine drahtlose Übermittlung Kosten verursachen würde, die allein für die Übertragung fünf bis sechs mal höher liegen würden als der gesamte Körperschallsensor bei leitungsgebundener Übertragung. Auf der Basis dieser Materialkosten von ca. DM 750,- dürfte es möglich sein, daß Hersteller von CNC-Werkzeugmaschinen den Funktionsbaustein "Körperschallsensor" für weniger als DM 1.000,- Zusatzkosten mit anbieten könnten. Es handelt sich damit bei diesem Funktionsbaustein um eine vergleichsweise kostengünstige technische Zusatzinstrumentierung.

Wie die Labor- und Feldversuche zeigten, stehen diesen Zusatzkosten Erträge gegenüber, die aus verkürzten Einfahrzeiten für Neuteilprogramme, aus verkürzten Stückzeiten sowie aus einer besseren Werkstückqualität herrühren. Im einzelnen konnten folgende Nutzengrößen identifiziert werden:

- Beim Einfahren von Neuteilprogrammen ermöglicht es der Einsatz des Körperschallsensors, das Ankratzen des Werkstücks zur Setzung des Programmnullpunktes schneller und exakter vorzunehmen. Der Zeitaufwand für das Nullpunktsetzen ließ sich bis zu 50 % reduzieren. Dies kann im Einzelfall einer Verkürzung der Einfahrzeit von bis zu fünf Minuten entsprechen.
- Die Stückzeiten ließen sich mit Hilfe des Körperschallsensors dadurch positiv beeinflussen, daß im Prozeß der Programmoptimierung eine bessere Beurteilung der Schnittqualität möglich wurde. Gegenüber einem unverstärkten Hören der Zerspanungsgeräusche erlaubte der Körperschallsensor ein besseres "Sich-Heran-Tasten" an höhere Schnittwerte. Die damit möglichen Verkürzungen der Stückzeiten beliefen sich auf bis zu 50 %.
- Die Qualität der Werkstücke konnte durch den Einsatz des Körperschallsensors ebenfalls verbessert werden. Adäquate Schnittwerte durch ein genaueres Hören der Zerspanungsgeräusche waren vor allem bei fertigungstechnisch komplexen Werkstücken für die Qualität von Bedeutung. Genaue Passungen, dünnwandige oder labile Teile wie auch Teile, die in Innenbearbeitung zu fertigen waren, sind in ihrer Qualität mit Hilfe des Körperschallsensors positiv beeinflusst worden.

Allgemein war festzustellen, daß der durch den Körperschallsensor zu erzielende Nutzen in Fertigungssituationen am größten war, die durch folgende Rahmenbedingungen gekennzeichnet sind:

- Kleine Losgrößen und/oder Einsatz vieler Werkzeuge, da hier dem Ankratzen des Werkstücks ein hoher Zeitanteil zukommt.
- Mittlere bis längere Fertigungsstückzeiten, da sich erst hier eine Optimierung der Schnittwerte in kostenrelevantem Ausmaß auswirkt.
- Tiefe Einstiche bei harten bzw. zähen Werkstoffen, da sich hier infolge schlechter Kühlung und schlechtem Spanbruch das Problem von Aufbauschneiden und damit der Schnittwertoptimierung besonders stellte.

Stellt man den, im vorangegangenen dargestellten, durch den Einsatz von Körperschallsensoren erzielbaren Nutzen den Zusatzkosten gegenüber, die mit dem Körperschallsensor verbunden sind, so entsteht folgendes Bild: Bei CNC-Werkzeugmaschinen mit Maschinenstundensätzen von ca. DM 100,- ließen sich die Zusatzkosten in drei Jahren amortisieren, wenn es mit Hilfe des Körperschallsensors gelingt, pro Jahr drei bis vier Stunden Maschinenhauptnutzungszeiten einzusparen, indem z.B. einfahrbedingte Maschinenstillstandszeiten vermieden werden. Diese Werte sind vor dem Hintergrund der oben genannten Einsparpotentiale äußerst realistisch:

- Bei 40 Neuteilprogrammen pro Jahr, deren Einfahrzeiten mit Hilfe des Körperschallsensors im ermittelten Ausmaß verkürzt werden können, rechnet sich der Zusatzaufwand allein über die Reduzierung der Einfahrzeiten.
- Eine Stückzeitverkürzung von nur 0,3 % erbringt bei einschichtiger Maschinennutzung und 80 % Auslastung (bezogen auf die Hauptzeit) die benötigten drei bis vier Stunden Einsparung pro Jahr. Bei den mit Hilfe des Körperschallsensors ermittelten Einsparmöglichkeiten für Stückzeiten von bis zu 50 % ist dieser geforderte Wert leicht zu übertreffen.

Diese, zur Amortisation notwendigen Einsparpotentiale sind um so leichter zu erreichen, je größer und damit teurer die betrachtete Werkzeugmaschine ist. Darüber hinaus ist zu beachten, daß neben den zeitlichen Einsparpotentialen die Vorteile, die sich aus einer Erhöhung der Werkstückqualität bzw. der Vermeidung von Fehlerkosten ergeben, für die Kosten-Nutzen-Betrachtung vielleicht noch entscheidender sind.

Insgesamt kann damit festgehalten werden, daß der Körperschallsensor ein technischer Funktionsbaustein zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit ist, der auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine sehr sinnvolle Zusatzinvestition darstellt.

## **(2) Rotierende Sichtscheibe**

Wie beim Körperschallsensor handelt es sich auch bei der rotierenden Sichtscheibe ROTOCLEAR um eine technische Komponente, die eine verbesserte Prozeßtransparenz mit sich bringt. Der ROTOCLEAR erleichtert für Arbeiten unter Einsatz von Kühlschmiermitteln die Wahrnehmbarkeit des Zerspanungsvorgangs.

Anders als beim Körperschallsensor, bei dem bislang nur eine prototypische Realisierung erfolgte, ist der ROTOCLEAR ein Produkt, das inzwischen am Markt angeboten wird. Sein aktueller Verkaufspreis liegt bei DM 2.900,-. Inwieweit dieser Preis bei einer Fertigung in größeren Stückzahlen sinken könnte, konnte im Rahmen des CeA-Forschungsverbundes

nicht abgeschätzt werden. Vor diesem Hintergrund wird bei den weiteren Kosten-Nutzen-Überlegungen von dem heutigen Preis als zu amortisierender Größe ausgegangen.

Zu einer solchen Amortisation tragen folgende, mit dem Einsatz des ROTOCLEAR erzielbaren Effekte bei:

- Um beim Einfahren insbesondere von Neuteilprogrammen die Richtigkeit des Programmablaufs direkt überprüfen zu können sowie anhand von Spanfluß und Spanfarbe Rückschlüsse über die eingestellten Schnittwerte zu gewinnen, ist eine kontinuierliche Beobachtung des Zerspanungsprozesses erforderlich. Diese wird unter anderem dadurch erschwert, daß sich an der Sichtscheibe der Maschinenkapselung Kühlschmiermittel niederschlagen. Um eine periodische Überprüfung des Programms im Einfahrprozeß dennoch zu ermöglichen, sind wiederholte Programmunterbrechungen zum Öffnen der Kapselung erforderlich. Mit Hilfe des ROTOCLEAR wird das Spritzschutzfenster vom Kühlschmiermittel gereinigt und die Sicht in den Arbeitsraum somit verbessert. Dadurch werden Programmunterbrechung während des Einfahrprozesses eines Neuteilprogramms und das Öffnen der Kapselung wesentlich seltener notwendig. Da solche Programmunterbrechungen jeweils 30 bis 60 Sekunden Maschinenstillstand bedeuten, bewirkt der Verzicht auf solche Unterbrechungen eine Verkürzung der Einfahrzeiten für Neuteilprogramme. Wie die Versuche zeigten, läßt sich damit das Einfahren von neuen Programmen um 5 bis 10 % schneller bewerkstelligen als ohne ROTOCLEAR.
- Bei der Überwachung der Fertigung mit CNC-Werkzeugmaschinen macht es die durch den ROTOCLEAR verbesserte Sicht auf den Bearbeitungsprozeß möglich, Fließ- oder Wickelspäne wesentlich schneller zu erkennen. Darüber hinaus ist auch die Spanfarbe direkter wahrnehmbar. Dadurch wird es möglich, Veränderungen am Werkzeug mit Auswirkungen auf die Bearbeitungsqualität unmittelbar zu erkennen und durch Korrekturen von Vorschub, Drehzahl oder Zustelltiefe zu kompensieren. Die Produktion von minderwertiger Qualität, die zu Ausschuß bzw. Nacharbeit führt, wird vermieden. Je nach Wert der produzierten Teile variiert der dadurch erzielbare Nutzen.

Generell zeigte sich, daß die Vorteile des ROTOCLEAR beim Einfahren von Neuteilprogrammen wie auch beim Vermeiden von Ausschuß und Nacharbeit insbesondere dann groß sind, wenn es sich um Schrägbettmaschinen handelt. Dadurch, daß sich bei Maschinen dieser Bauart das Maschinenfutter relativ nahe an der Maschinenkapselung befindet, erschwert die dadurch bedingte starke Vernebelung der Kühlschmiermittel mit Beschlagen der Sichtfenster bei dieser Bauart die Prozeßtransparenz in besonderem Maße. Neben der Bauart der Maschine ist auch die Geometrie der herzustellenden Teile für den Umfang des mit dem ROTOCLEAR erzielbaren Nutzen mitentscheidend. Da auch mit Hilfe des ROTOCLEAR nur ein eingeschränktes Sichtfeld eröffnet werden kann, ist ein wirtschaftlicher Einsatz dieser Komponente primär dann gegeben, wenn die Werk-



stücke klein, d.h. die Bearbeitung relativ nahe am Futter erfolgt, wohin die Sicht durch den ROTOCLEAR verbessert werden kann.

Versucht man, die mit dem Einsatz des ROTOCLEAR verbundenen wirtschaftlichen Effekte in ihrer Größenordnung zu bestimmen und sie den Kosten dieser technischen Komponente gegenüberzustellen, so zeigt sich, daß sich die Investition in diesen Funktionsbaustein zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit wirtschaftlich legitimiert.

- In Produktionssituationen, in denen wie üblich ca. 20 % der verfügbaren Kapazität von CNC-Werkzeugmaschinen für Einfahroperationen von neuen Programmen verwendet werden müssen, bedeutet eine Verkürzung dieser Zeiten um 10 % eine Einsparung von 30 Stunden im Einschicht- und 60 Stunden im Zweischichtbetrieb pro Jahr. Bei Maschinenstundensätzen von DM 100,- lassen sich damit jährlich durch den ROTOCLEAR bis zu DM 6.000,- einsparen.
- Über die Verminderung von Ausschuß und Nacharbeit können je nach Materialwert und Wertschöpfung der zu fertigenden Teile Einsparungen in ähnlicher Größenordnung erzielt werden. Geht man beispielhaft davon aus, daß der Wert eines fehlerhaften Drehteils DM 150,- beträgt, so amortisiert sich der ROTOCLEAR bereits bei Vermeidung von 20 fehlerbehafteten Teilen.

In den Fällen, in denen besonders teure Werkstücke zu produzieren sind, der Wert der Werkzeugmaschinen besonders hoch liegt und der Anteil neu einzufahrender Programme sehr groß ist, verbessert sich die an sich bereits gegebene Wirtschaftlichkeit des ROTOCLEAR weiter.

### **(3) Krafrückgekoppelter Joystick**

Die Krafrückkoppelung auf den Joystick verbessert für Arbeitskräfte an CNC-Fräsmaschinen sowohl den Zugang zum Zerspanungsprozeß als auch die Möglichkeiten zum Prozeßeingriff. Die Materialkosten für den entwickelten Prototyp belaufen sich auf etwa DM 5.000,-. Aufgrund der relativ teuren Einzelkomponenten ist davon auszugehen, daß der krafrückgekoppelte Joystick auch bei größeren Stückzahlen kaum unter dem genannten Betrag angeboten werden kann. Damit handelt sich hier um eine vergleichsweise teure Komponente.

Wie die Laboruntersuchungen zeigen konnten, lassen sich diesen Zusatzkosten in erster Linie Nutzen bei der Programmerstellung, beim Ankratzen bzw. Anlehren und bei der Feinoptimierung von Schnittwerten gegenüberstellen. Diese basieren auf der schnellen und sicheren Positionierung der Werkzeuge in der Zustellachse, die sogar eine einfache manuelle Planbearbeitung von Werkstücken ermöglicht. Im einzelnen konnten folgende Nutzen ermittelt werden:

- Werkstückbezogene Zeitvergleiche ergaben, daß der Einsatz des Joysticks bei der Bearbeitung von Planflächen durch den Wegfall entsprechender NC-Sätze zu Zeiteinsparungen von bis zu 30 % führen kann. Aufgrund dessen waren Reduzierungen der Fertigungsstückzeit von bis zu 5 Minuten möglich. Im Durchschnitt entsprach dies für die zugrunde gelegten Werkstücke einer Einsparung von nahezu einer Mi-

nute. Bei Werkstücken mit reinen Planbearbeitungen kann im Extremfall auf die Generierung von NC-Sätzen ganz verzichtet werden.

- Ferner konnten beim Ankrätzen infolge des Joysticks im Mittel Zeiteinsparungen von 30 % gegenüber der Verwendung von Richtungstasten erzielt werden. Der absolute Zeitvorteil betrug bei den zugrundegelegten Werkstücken bis zu einer halben Minute.
- Ein weiterer wirtschaftlich relevanter Nutzen des Joysticks deutete sich hinsichtlich der Feinoptimierung von Schnittwerten an. Allerdings zeigte sich, daß hierfür längere Erfahrungen im Umgang mit der Komponente erforderlich sind. Da diese Voraussetzung in den Laborversuchen nicht gegeben war, sind Aussagen über den Umfang dieses Nutzenpotentials erst nach der Durchführung von Langzeitversuchen möglich.

Die genannten Zeitvorteile bei der Bearbeitung von Planflächen waren dann von Bedeutung, wenn folgende Bedingungen gegeben waren:

- Werkstücke, bei denen der Planbearbeitung eine große Bedeutung zukommt. Dann führen die Zeiteinsparungen, die mit Hilfe des Joysticks zu erzielen sind, auch bei der Bearbeitung des kompletten Werkstücks zu nennenswerten Einsparungen.
- Die Bearbeitung von Einzelteilen, da bei der Bearbeitung mehrerer (gleicher) Werkstücke oder einer Wiederholfertigung der einmalige Zeitaufwand für das Generieren von NC-Sätzen für die Planbearbeitung geringer sein kann als der wiederholte Zeitaufwand für die manuelle Bearbeitung.
- Einsatz von Fräsmaschinen ohne automatisches Werkzeugwechselsystem und dezentrale Werkzeugvermessung, da hier die quantitative Bedeutung des Ankrätzens besonders hoch ist, d.h. bei der Verwendung mehrerer Werkzeuge ist mit jedem einzelnen das Werkstück anzukratzen, da bei jedem neuen Werkzeug eine Nullpunktsetzung erfolgen muß.

Eine Gegenüberstellung der mit dem Einsatz des Joysticks erzielbaren Nutzen und den damit verbundenen Kosten zeigt, daß eine Amortisation dieser Komponente innerhalb von 3 Jahren nur dann möglich ist, wenn damit jährlich Einsparungen in einem Umfang von mindestens DM 1.700,- realisiert werden können. Wie folgendes Rechenbeispiel verdeutlicht, scheint dies aufgrund der ermittelten Ergebnisse unter den oben genannten Rahmenbedingungen durchaus realistisch:

Bei 900 Fertigungsaufträgen, die pro Jahr an einer Fräsmaschine zu fertigen sind, und einem durchschnittlichen Einsatz von 3 Werkzeugen je Fertigungsauftrag ist mit Hilfe des Joysticks jährlich eine Verkürzung der Ankratzprozedur von insgesamt bis zu 22,5 Stunden zu erzielen. Dies entspricht bei einem Maschinenstundensatz von DM 100,- einer Einsparung von DM 2.250,- pro Jahr.

Selbst wenn man bei vorsichtiger Schätzung davon ausgeht, daß sich aufgrund des Joysticks die Ankratzprozedur je Werkzeug nur um eine Viertel Minute reduzieren läßt, sind dadurch noch Einsparungen von DM 1.120,- pro Jahr zu erzielen. Geht man ferner davon aus, daß 40 Frästeile

pro Jahr an einer Maschine in der Einzelfertigung zu bearbeiten sind, dann erbringt der Joystick bei einer Fertigungsstückzeit pro Teil von 120 Minuten und einer mittleren Stückzeitverkürzung von 5 % bei einem Maschinenstundensatz von DM 100,- zusätzlich einen monetären Nutzen von jährlich DM 400,-.

Zu diesen Zeiteinsparungen kommen gegebenenfalls noch qualitative Vorteile, die sich aufgrund der Krafrückkopplung bei der Feinoptimierung der Schnittwerte ergeben. Insgesamt verspricht diese Komponente damit trotz der hohen Zusatzkosten unter den angeführten Rahmenbedingungen durchaus eine wirtschaftlich legitimierte Investition.

Wie exemplarisch für drei Komponenten dargestellt, kann die Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit durch die entwickelten technische Komponenten zur Prozeßtransparenz und zur Prozeßregulation unter bestimmten betrieblichen Rahmenbedingungen auch aus ökonomischen Gründen eine sinnvolle (Zusatz-)Investition darstellen. Wenngleich aufgrund des prototypischen Charakters der Funktionsbausteine noch viele Unsicherheiten sowohl auf der Kosten- wie auch der Nutzenseite existieren, zeigen doch die vorliegenden Ergebnisse, daß es sich bei den vorgestellten Komponenten um vielversprechende Entwicklungen handelt. Ihr Nutzenpotential liegt nicht nur in zeitlichen und kostenmäßigen Einsparmöglichkeiten, sondern auch in der Verbesserung der Werkstückqualität. Letztere ist unter bestimmten Rahmenbedingungen vielleicht entscheidender, auch wenn hier eine monetäre Nutzenabschätzung nicht möglich ist.

### 3.6 Literatur zu Kapitel 3

- Badham, R.; Schallock, B.: Human Factors in CIM: A Human Centered Perspective from Europe. In: International Journal of Human Factors in Manufacturing, April 1991, pp.121-141.
- Beduhn, G.: Geräusche an Einspindel-Drehautomaten. Stuttgart, Technische Hochschule, Diss. 1963.
- Blutner, F.; Weißing, H.: Schallwahrnehmung. In: Fasold, W.; Kraak, W.; Schirmer, W. (Hg.): Taschenbuch der Akustik. Teil 1. Berlin: Verlag Technik 1984, S. 214-260.
- Böhle, F.; Carus, U.; Schulze, H.: Manuelle Steuerung von CNC-Werkzeugmaschinen. In: VDI-Z 135 (1993) 3, S. 14-20.
- Böhle, F.: Einfahren und Optimieren. In: Institut für Arbeitswissenschaft der Gesamthochschule Kassel (Hg.): Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung. Kassel: Eigenverlag 1992, S. 46-51.
- Böhle, F.; Rose, H.: Erfahrungsgeleitete Arbeit bei Werkstattprogrammierung - Perspektiven für Programmierverfahren und Steuermeßtechniken. In: Rose, H.

- (Hg.): Programmieren in der Werkstatt. Frankfurt/M.: Campus Verlag 1990, S. 11-95.
- Bosch, M.: Über das dynamische Verhalten von Stirnradgetrieben besonderer Berücksichtigung der Verzahnungsgenauigkeit. Aachen, Rheinisch Westfälisch Technische Hochschule, Diss. 1965.
- Brandl, J.: Untersuchung der Schallabstrahlung von Werkstücktransporteinrichtungen an Pressen. Hannover: Technische Universität 1980. BMFT-Förderprogramm Humanisierung des Arbeitslebens DFLR-HdA, Identifikation FB-HA 80-001.
- Brey, W.: Geräusch- und Schwingungsverhalten von Werkzeugmaschinenantrieben unter Berücksichtigung von Zahnflankenspielen. Aachen, Rheinisch Westfälisch Technische Hochschule, Diss. 1983.
- Brey, W.; Klöckner, M.: Geräuschemission von Werkzeugmaschinen und Maßnahmen zur Geräuschminderung. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung, (1982) 29.
- Brey, W.: Untersuchungsergebnisse zur Beschreibung der Geräuschemission von spanenden Werkzeugmaschinen. In: VDI-Z 123 (1981) 4, S. 105-112.
- Carbon, M.: Volltreffer - Genaue Zufuhr des Kühlschmiermittels. In: Fertigung, August 1993, S. 76.
- Carbon, M.; Heisig, P.: Verbesserung der Prozeßtransparenz durch konstruktive Veränderungen. In: Bolte, A.; Martin, H. (Hg.): Flexibilität durch Erfahrung - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit in der Produktion. Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1993, S. 71 -77.
- Carbon, M.; Heisig, P.: Bessere Sicht in den Bearbeitungsraum. In: Technische Rundschau Wissen, 85 (1993) September, S. 26.
- Carbon, M.; Heisig, P.: Bessere Sicht in den Bearbeitungsraum. Technische Rundschau, 85 (1993) 36, S. 52.
- Carbon, M.; Heisig, P.: Die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine - Konzepte zur Erhöhung der Prozeßtransparenz durch konstruktive Veränderungen. In: Werkzeugmaschinen-Handbuch, Landsberg: Verlag Moderne Industrie 1992a, S. 28-32.
- Carbon, M.; Heisig, P.: Konzepte zur Erhöhung der Prozeßtransparenz durch Verbesserung der Zugänglichkeit. In: Gesamthochschule Kassel - Institut für Arbeitswissenschaft (Hg.): Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung - Ergebnisse 1991 aus dem Forschungsverbund "Prozeßbeherrschung durch Erfahrungswissen und deren technische Unterstützung (CeA 1)", Kassel: Eigenverlag 1992b, S. 69-73.
- Carbon, M.; Erzberger, H.; Ilg, R.; Kroneberg, M.; Schallock, B.: Grundaussagen zur Technikgestaltung. In: Handbuch der humanen CIM-Gestaltung, Berlin: IPK 1991.
- Carbon, M.; Schallock, B.: Erweiterte Prinzipien der Softwareentwicklung. In: Mertins, K.; Schallock, B. (Hg.): Arbeitsorientierte CIM-Gestaltung. Tagungsband. Berlin: FhG-IPK, 17./18. September 1991.
- Colin, I.: Gestaltungsmaßnahmen zur Erhöhung von Sicherheit und Zuverlässigkeit. In: Hoyos, C. Graf; Zimolong, B. (Hg.): Ingenieurpsychologie, Bd. 2. Göttingen: Hogrefe 1990, S. 346-362.
- Fähnrich, K. P.; Raether, Ch.: Programmierschnittstellen an computergestützten Werkzeugmaschinen. In: Fähnrich, K. P. (Hrsg.): Software-Ergonomie. München: Oldenbourg 1987, S. 144-158.

- Gebauer, D.: Systeme zur rechnerunterstützten Schnittwertoptimierung, Zeit-, Kosten- und Methodenplanung für die spanende Fertigung. Aachen, Rheinisch Westfälisch Technische Hochschule, Diss. 1980.
- Genuit, K.: Ein Modell zur Beschreibung von Außenohrübertragungseigenschaften. Aachen, Rheinisch Westfälisch Technische Hochschule, Diss. 1984.
- Glorig, A.: The Effects of Noise on Hearing. In: The Journal of Laryngology and Otolgy 75 (1961). pp. 447-478, Invictapress, Ashford / England.
- Gösele, K.: Zur Entstehung und Berechnung des Geräusches von hydrostatischen Pumpen. Stuttgart, Universität, Diss. 1979.
- Heydt, F.; Schwarz, H.J.: Geräuschemission von Holzbearbeitungsmaschinen und Maßnahmen zur Lärminderung. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Nr. 150. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1976.
- Hösel, Th.: Geräuschuntersuchungen an schrägverzahnten Stirnrädern mit Evolventenverzahnung. München, Technische Universität, Diss. 1965.
- Humpert, R.: Bearbeitungsgeräusche beim Drehen und Fräsen - Analyse, Auswirkungen, Minderung. Aachen, Rheinisch Westfälisch Technische Hochschule, Diss. 1989.
- Humpert, R.: Geräuschuntersuchungen an spanenden Werkzeugmaschinen. Unveröffentlichte Firmenberichte, Aachen: Rheinisch Westfälisch Technische Hochschule WZL.
- Jansen, G.: Industrieller Lärm als Unfall- und Krankheitsursache. In: Werkstatttechnik, 52 (1962) 1, S. 6-8.
- Jung, P.: Neue Entwicklungen zum geräuscharmen Bearbeiten und Transport von Metallwerkstücken. VDI-Berichte Nr. 437. Düsseldorf: VDI-Verlag 1982, S.179-183.
- Keller, S.: CNCplus, ein europäisches Steuerungskonzept? Vortragsunterlagen zum Workshop "Innovationen im Werkzeugmaschinenbau". Aachen, 14.10.1993
- Kuark, J.K.; Schüpbach, H.: Benutzer brauchen Unterstützung und nicht Bevormundung. Systeme zur Fehlerfrüherkennung (Teil 3). Technische Rundschau 83 (1991) 19, S. 62-68.
- Kullmann, G.; Pascher, G.: Arbeitsbericht des Projektes CeA der Technischen Universität Dresden für das Jahr 1992. Interner Bericht.
- Kullmann, G.; Pascher, G.; Rentzsch, M.: Erhöhung der Prozeßtransparenz durch differenzierte akustische Rückkopplung bei CNC-Maschinen. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 46 (1992) 4, S. 219-223.
- Lennartz, K. D.; Hsieh, L. H.; Carbon, M.: Sensorgestütztes Entgraten eröffnet neue Anwendungsfelder. Tagungsband "Automatisiertes Entgraten mit dem Roboter". Landsberg: Verlag Moderne Industrie 1988.
- Lennartz, K. D.; Rose, H.: Flexibel fertigen auf der Basis erfahrungsgeleiteter Arbeit - Neue technische Optionen für mehr Effizienz der NC-Verfahrenskette. In: VDI-Z, 134 (1992) 5, S. 46-54.
- Ligner, P.: Die CNC-Steuerung: Werkzeug oder Barriere für erfahrungsgeleitete Arbeit. In: LTA-Forschung, (Landesmuseum für Technik und Arbeit), Mannheim (1993) 10.
- Ligner, P.; Striepe, S.: Steuerungskonzepte und erfahrungsgeleitete Arbeit. Prozeßsteuerung, Maschinenhandhabung und Programmierung an Werkzeugmaschinen. (Unveröffentlichter Arbeitsbericht des CeA 1 Forschungsverbundes).

- Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft der Universität - Gesamthochschule 1992.
- Lübcke, E.: Geräuschforschung im Maschinenbau. VDI-Z 98 (1956) 14.
- Matischka, G.: Geräuschemission von Schneidpressen und Maßnahmen zur Geräuschminderung. Hannover, Technische Universität, Diss. 1981.
- May, H.-P.; Wiesner, H.: Überwachung und Diagnose. Teil 1. Interner Bericht. Aachen: Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der Rheinisch Westfälisch Technischen Hochschule 1988.
- Melder, W.: Geräuschemission spanender Werkzeugmaschinen Einflußgrößen, Beurteilungsverfahren, Meßtechnik. Aachen, Rheinisch Westfälisch Technische Hochschule, Diss. 1976.
- Mertens, R.: Akustische Sensorik und Bedienelemente mit taktile Rückkopplung. In: Institut für Arbeitswissenschaft der GhK (Hg.): Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung. Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1992, S. 85-91.
- Mertins, K.: Steuerung rechnergeführter Fertigungssysteme. München: Carl Hanser Verlag 1985.
- Mertins, K.; Carbon, M.: Computer Supported Experience Guided Work (CeA). In: Brödner, P.; Karwowski, W. (Ed.): Ergonomics of Hybrid Automated Systems III - Proceedings of the Third International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing and Hybrid Automation. Amsterdam/London/New York/Tokio: Elsevier 1992, pp. 177-182.
- Mertins, K.; Heisig, P.; Neubauer, G.: Verfahren zur Auswahl von Fertigungsleitsystemen (FLS). In: Fischer, M. (Hg.): Lehr- und Lernfeld Arbeitsorganisation - Bezugspunkte für die Entwicklung von Aus- und Weiterbildungskonzepten in den Berufsfeldern Metall- und Elektrotechnik. ITB-Arbeitspapier Nr. 9 Bremen, 1993, S. 81-100.
- Mertins, K.; Jochem, R.: Enterprise integration by modelling: Basis for planning and optimization of enterprise processes. Proceedings of the FUCAM International Conference on industrial engineering and production management. Mons (Belgium) 2-4 June 1993, pp. 717-726.
- Mertins, K.; Schallock, B.; Carbon, M.: Production Management Software Suitable for Group Work. In: Smith, M. J.; Salvendy, G.: Human-Computer Interaction - Applications and Case Studies. Amsterdam/London/New York/Tokyo: Elsevier 1993, S. 96-101.
- Mertins, K.; Schallock, B.; Carbon, M.; Heisig, P.: Erfahrungswissen bei der kurzfristigen Auftragssteuerung. Zwf 88 (1993) 2, S. 78-80.
- Mintrop, H.: Geräuschverhalten umformender Werkzeugmaschinen Zusammenstellung und Auswertung von Literaturangaben zum Entstehen und Messen von impulshaltigen Geräuschen und deren Minderung. VDW-Bericht Nr. 2003, Frankfurt, März 1974.
- Muthig, K. P.: Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung. In: Hoyos, C. Graf; Zimolong, B. (Hg.): Ingenieurspsychologie, Bd. 2. Göttingen: Hogrefe 1990, S. 92-120.
- Nakazawa, H.; Sugaya, I.: The Study on Human-Oriented Machine Tools, General Meeting of Japanese Society of Mechanical Engineering, pp. 920-78.



- Neumann, J.: Lärmmeßpraxis am Arbeitsplatz und in der Nachbarschaft: Einführung in Schallphysik, Schallmeßtechnik und Schallschutz. 5. überarb. u. erw. Aufl. Ehningen bei Böblingen: expert-Verlag 1989.
- Opitz, H.; Melder, W.: Geräuschverhalten spanender Werkzeugmaschinen - Zusammenstellung und Auswertung von Literaturangaben zu Geräuschmessung, -beurteilung, -minderung. VDW-Forschungsbericht, Frankfurt 1973.
- Pritschow, G.; Lauerer, H.: Entwicklungstendenzen in der NC-Steuerungstechnik. In: Pritschow, G.; Spur, G.; Weck, M. (Hg.): Tendenzen in der NC-Steuerungstechnik. München: Carl Hanser Verlag 1993.
- Rebel, J.; Schmidt, G.: Geräuschemission von Hydroelementen und Hydrosystemen und Maßnahmen zur Lärminderung. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Nr. 180, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1977.
- Riehn, A.: Intelligente Bedienfunktionen. In: MTW 27 (1987) Fertigungstechnik 10, S. 64-68.
- Rohr, G.: Werkzeugmaschinenegeräusche - Geräuschverhalten, Analyseverfahren, Systembeschreibung. Hannover, Technische Universität, Diss. 1980.
- Rose H.: Bedeutung des Erfahrungswissens für die Bedienung von CNC-Maschinen. In: Zwf 86 (1991) 17, S. 45-48.
- Rundel, P.; Carbon, M.; Heisig, P.: Arbeitsteilung Mensch/Maschine. In: FhG-ISI: Erfahrungselektete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen als Element rechnerintegrierter Produktionsstrukturen. Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1992, S. 51-61.
- Schallock, B.: Skill enhancing shop floor structures. In: Ergonomics of Hybrid Automated Systems III; Proceedings of the Third International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing and Hybrid Automation. Gelsenkirchen, Germany, August 26-28, 1992.
- Schehl, U.: Sicherung des spanabhebenden Bearbeitungsprozesses. Forschungsbericht KfK-PFT 154, Karlsruhe: Kernforschungszentrum 1990.
- Schmidt, G.: Geräuscharme Hydroelemente und -systeme für spanende Werkzeugmaschinen. VDI-Berichte Nr. 331, Düsseldorf: VDI-Verlag 1979.
- Schmidt, I.; Klaiber, M.; Astenadis, N.: Einfahren von NC-Programmen. In: VDI-Z - Z 133 (1991) 4, S. 115-118.
- Schröder, P.J.: Lärminderung an einer Schneidpresse. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Nr. 170, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1978.
- Spur, G.: Vom Wandel der industriellen Welt durch Werkzeugmaschinen: eine kulturgeschichtliche Betrachtung der Fertigungstechnik. München: Carl Hanser Verlag 1991.
- Spur, G.; Seliger, G.; Eggers, A.: Kompetenzorientierte Werkstattsteuerung. Zwf 78 (1983) 5, S. 216-220.
- Spur, G.; Stelzer, C.: Neue Wege in der Prozeßüberwachung an Drehmaschinen. VDI-Z 134 (1992) 12, S. 50-56.
- Unterberger, M.: Geräuschuntersuchung an geradverzahnten Zahnrädern. München, Technische Universität, Diss. 1959.
- VDI 3742 - Emissionskennwerte technischer Schallquellen, spanende Werkzeugmaschinen, Blatt 1: Drehmaschinen, Blatt 2: Fräsmaschinen, Februar 1981.

- Weck, M.: Werkzeugmaschinen. Band 3: Automatisierung und Steuerungstechnik. 3. neubearb. u. erw. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989.
- Weck, M.: Geräuschemission spanender Werkzeugmaschinen. BAU/VDW Forschungsbericht Nr. 264. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1981a.
- Weck, M.: Geräuschminderungsmaßnahmen an spanenden Werkzeugmaschinen - Lösungskatalog geräuschkindernder Maßnahmen, Teil I -III. VDW-Bericht Nr. 0133, Frankfurt, 1981b.
- Weck, M.: Geräuschemission von Fräsmaschinen. BAU/VDW-Forschungsbericht Nr. 214. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1979.
- Weck, M.: Geräuschemission von Drehmaschinen, BAU/VDW-Forschungsbericht Nr. 181. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1977.
- Weck, M.; Lachenmaier, S.: Geräuschuntersuchungen an Getrieben. Getriebetaugungsbericht des WZL Aachen: Rheinisch Westfälisch Technische Hochschule 1979.
- Weck, M.; Mertens, R.; Schubert, I.: Sicherheit an Großmaschinen. Erprobung und Entwicklung von Teil- und Einzellösungen. VDW-Forschungsbericht 0155/1. Frankfurt 1993.
- Weck, M.; Mertens, R.; Schubert, I.: Sicherheit an Großmaschinen. VDW-Forschungsbericht 0155. Frankfurt 1991.
- Wiedeking, W.: Geräuschanalyse und Geräuschminderung an Einzelhub-Exzenterpressen. Aachen, Rheinisch Westfälisch Technische Hochschule, Diss. 1983.
- Zeppelin, W. von: Lärminderung bei Stangenführungen für Drehmaschinen. VDI-Berichte Nr. 331, Düsseldorf: VDI-Verlag 1979.
- Zimolong, B.: Fehler und Zuverlässigkeit. In: Hoyos, C. Graf; Zimolong, B. (Hg.): Ingenieurpsychologie. Göttingen: Hogrefe 1990, S. 313-345.
- Zumbroich, H.: Untersuchung des Geräuschverhaltens moderner Hochlastgetriebe. Aachen, Rheinisch Westfälisch Technische Hochschule, Diss. 1964.



## **4 Programmierung und Steuerungskonzepte**

### **4.1 Neue Programmierkonzeptionen unter CeA-Sicht**

**Annegret Bolte und Sören Striepe, GhK-IfA Kassel**

CNC-Steuerungen sind inzwischen keine ganz neue Technik mehr in den Werkstätten: Viele Facharbeiter arbeiten seit vielen Jahren mit ihnen, haben Erfahrungen mit verschiedenen "Steuerungsgenerationen" und Programmierverfahren gemacht. Die Systemarchitektur von CNC-Steuerungen determiniert dabei insoweit das Arbeitshandeln der Facharbeiter, als die Steuerung bestimmte Formen des Arbeitshandelns verlangt. Aus diesem Grund ist die Gestaltung der CNC-Steuerungen von strategischer Bedeutung für die Konzepte einer benutzungsfreundlichen CNC-Werkzeugmaschine, die Facharbeitern ein erfahrungsgeleitetes Arbeiten ermöglicht.

Das Modell des Handelns, das durch die Systemarchitektur der heutigen Steuerungen gefordert und unterstützt wird, unterstellt eine scharfe Trennung von Planen, Ausführen und Kontrollieren. Dieses Handlungsmodell fordert, daß ein Programm detailliert geplant werden muß, indem jede einzelne Verfahrbewegung und jeder Technologiewert festzulegen ist. Nach diesem Programm soll dann anschließend ein Werkstück unabhängig von menschlichen Eingriffen gefertigt werden. Unsere empirischen Untersuchungen, die im folgenden dargestellt werden, zeigen, daß dieses Handlungsmodell dem tatsächlichen Handeln der Facharbeiter nicht entspricht.

Wie in Kapitel 1.2 ausgeführt, muß Technikentwicklung vom Arbeitshandeln der Facharbeiter in der Werkstatt ausgehen. Facharbeiter müssen von der Steuerung in ihrer Form des Arbeitshandelns unterstützt werden. Es werden im Folgenden die Konsequenzen für die (Weiter-)Entwicklung von Steuerungen und Programmierkonzepten dargestellt.

#### 4.1.1 Planung aus der Fertigungsperspektive

Im Rahmen des Produktionsprozesses ist es die Aufgabe der Teilefertigung, den in einer Zeichnung niedergelegten Entwurf eines Teils in ein konkretes Werkstück umzusetzen, das dann später zusammen mit anderen Teilen zu einem Fertigprodukt (z.B. einer Maschine) montiert werden kann. Diese Aufgabe der Umsetzung bewirkt eine spezifische Form der Planung, die sich in zwei wesentlichen Aspekten von einer Planungstätigkeit von einem Ort "außerhalb" der Werkstatt unterscheidet:

- Für die Facharbeiter sind die Planung des Zerspanungsprozesses, die Umsetzung dieser Planung in ein Programm und die Überprüfung dieses Programms beim Einfahren Tätigkeiten, die sich immer auf konkrete Arbeitsgegenstände beziehen.
- Aus dieser Perspektive beziehen die Facharbeiter den Zustand der Werkzeuge ebenso in ihre Arbeitsplanung und Programmerstellung ein, wie sie ihre Planung auf eine bestimmte Aufspannung des Werkstückstücks hin ausrichten.

Um zu einer Bearbeitungsstrategie zu kommen, benötigen die Facharbeiter ein mentales Bild (oder treffender, da es sich um Bewegungen handelt, einen mentalen "inneren Film") vom herzustellenden Werkstück und vom Ablauf seiner Bearbeitung. Dieser vor den "Augen" ablaufende "innere Film" vom Bearbeitungsprozeß entsteht aus der Auseinandersetzung mit der konkreten Umwelt - also dem Rohling, der Zeichnung und der Aufspannung - und den mittelbaren Erfahrungen aus anderen Fertigungssituationen. Die Planung der Bearbeitung ist somit eng mit der Vorstellung, der Imagination, von der Bearbeitung verbunden. Das "Wie" der Fertigung erscheint als ein Wissen aus unzähligen vorangegangenen Fertigungssituationen. Dieses Wissen verbindet sich zusammen mit der Zeichnung und dem Rohling zu einer prozeßhaften Vorstellung davon, wie aus dem Rohling ein bestimmtes Werkstück wird. Die Auseinandersetzung mit den konkreten Gegenständen und die Entstehung des Programms aus den Imaginationen des Bearbeitungsprozesses sind wesentliche Momente, die das Planungsverhalten der Facharbeiter von der eines Programmiers unterscheidet.

Die Erstellung eines Programms ist die Umsetzung der Imaginationen des herzustellenden Werkstücks, der Bearbeitungsschritte und den daraus entwickelten Verfabrbewegungen in einen Code. Die Imaginationen der Bearbeitung müssen in ein Programm umgesetzt werden. Dabei hat die Umsetzung der Vorstellungen von den Verfabrbewegungen in ein Programm für die Facharbeiter den Charakter einer Codierung. Die Vorstellung von einer Verfabrbewegung ist für sie dabei ebenso mit einem Code verbunden, wie für die Arbeitskräfte an konventionellen Werkzeugmaschinen das Verfahren einer Achse mit dem Drehen einer Kurbel in eine bestimmte Richtung verknüpft ist. Dadurch gelingt den Facharbeitern die direkte Umsetzung ihrer Vorstellungen in ein Programm. Außerdem ist für sie ein Programm keine Ansammlung nur abstrakter Zeichen, vielmehr

stehen hinter diesen Zeichen und Codes die Bewegungen der Werkzeuge (bzw. der Werkstücke).

Die meisten Facharbeiter benutzen zwar die Simulationsmodule der Steuerungen, um Programmfehler - z.B. falsch programmierte Verfahrenswege - erkennen zu können. Allerdings ist ihnen bewußt, daß ein Programm auch dann noch Fehler enthalten kann, wenn im Simulationslauf keine solchen zu erkennen sind. Diese Fehler können sich aus dem Zusammenwirken von Material und Werkzeugen sowie den dabei entstehenden Kräften ergeben und sind in einer Simulation nicht sichtbar. Ebenso können Fehler außerhalb des eigentlichen Programms angelegt sein, z.B. in den Werkzeugen oder den Aufspannungen. Somit bietet die Simulation nur eine eingeschränkte Sicherheit, bestimmte Fehlerquellen im Programm ausgeschaltet zu haben. Die eigentliche Entscheidung darüber, ob die bei der Arbeitsplanung und dem Programmieren gemachten Annahmen zutreffen, fällt erst beim Einfahren und nicht bei der Programmsimulation.

Bei den gängigen Programmierverfahren, die zur Herstellung komplexer Werkstücke eingesetzt werden, wird im Prinzip die Bearbeitung eines Werkstücks im vorhinein festgelegt und festgeschrieben. Gleichwohl lassen die Facharbeiter an vielen Stellen im Programm "Lücken", die sie erst in der realen Bearbeitungssituation "ausfüllen". Dies gilt insbesondere für das Herantasten an die Endkontur bei hohen Toleranzanforderungen, wenn Werkzeuge nicht mit hinreichender Genauigkeit im vorhinein vermessen werden können und sich Reaktionen des Materials nicht genau vorhersehen lassen. Auch Technologiewerte werden den spezifischen Anforderungen des realen Bearbeitungsprozesses angepaßt. Erstellte Programme sind im Verständnis der Facharbeiter zunächst offen in bezug auf die Technologiewerte (vgl. Striepe 1994). Sie "tasten" sich beim Einfahren des Programms oder bei der Fertigung der ersten Werkstücke mit Hilfe des Override-Drehschalters an die für diese Bearbeitung optimalen Werte heran. Mit den gängigen Programmierverfahren können diese Werte aber nicht einfach in das Programm übernommen werden.

Beim Einfahren richtet sich die Aufmerksamkeit der Facharbeiter zuerst auf die Verfabrbewegungen der Maschine, um diese realen Bewegungen mit den imaginierten vergleichen und bei Nichtübereinstimmung eingreifen zu können. Aus der Imagination des Bearbeitungsprozesses heraus haben die Facharbeiter schon vor dessen Beginn kritische Bearbeitungssituationen identifiziert, auf die sie dann besonders genau achten. Auch für die Wahrnehmung der Bearbeitungsprozesse, die die Facharbeiter aufgrund der Verkapselung der Maschinen nicht visuell kontrollieren können, haben die Imaginationen eine strukturierende Funktion. Wenn die Facharbeiter die Bearbeitungssituation anhand der Geräusche und Vibrationen beurteilen, sind die Imaginationen die Referenzebene für die Einschätzung des Bearbeitungsprozesses. Das "Erspüren" der Situation geschieht in der Auseinandersetzung mit der antizipierten Bearbeitung im Planungsprozeß.

Beim Einfahren, Optimieren und Fertigen haben die Facharbeiter die Chance, durch unmittelbare Anschauung die erzielten Ergebnisse mit ihren Vorstellungen zu vergleichen und gegebenenfalls korrigierend ein-



zugreifen. Sie können Produkt- und Prozeßzustände (Oberflächengüten, Verzug durch die Spannsituation, Vibrationen während der Bearbeitung) direkt im Fertigungsprozeß wahrnehmen und unmittelbar darauf reagieren. Beim Optimieren und "Herumexperimentieren" fließen Vorerfahrungen über das "richtige" Geräusch, das "richtige" Verhalten von Werkstück und Werkzeug in die Beurteilung der augenblicklichen Situation ein. Genau hier werden die Fertigungserfahrungen gemacht, die für spätere Programme wieder verwendet werden.

#### **4.1.2 Arbeitshandeln und Steuerungskonzepte**

Unsere Untersuchungen zeigen sehr deutlich, daß Arbeitsplanung und Programmerstellung für die Facharbeiter keine isolierten, von der Bearbeitung zu trennenden Tätigkeiten sind. Planen, Ausführen und Kontrollieren werden nicht sequentiell nacheinander ausgeführt, sondern beeinflussen sich gegenseitig. Die verschiedenen Handlungsanteile sind in einem zirkulären Prozeß miteinander verbunden.

Wenn aber die Entwicklung einer optimalen Bearbeitungsstrategie und die Festlegung der Prozeßparameter in der Praxis erst während des Einfahrens der Programme und nicht vor dem Einfahren erfolgen, muß dies Konsequenzen für die Konzeptionen von Steuerungen haben. An die Stelle von Steuerungen, die die Erstellung eines Programms zeitlich vor der Zerspanung verlangen, müssen Steuerungskonzeptionen treten, die die Facharbeiter in ihren Formen des Arbeitshandelns unterstützen. Es muß den Arbeitenden möglich sein, ihre Bearbeitungsstrategie und damit ihr Programm während des Bearbeitungsprozesses zu ändern oder erst dann zu vervollständigen.

#### **4.1.3 Programme als Arbeitsmittel für die Facharbeiter**

Die Entwicklung von Programmierverfahren war in den letzten Jahren zunächst darauf gerichtet, die Programmierung in der Werkstatt zu ermöglichen, um die oben beschriebenen Defizite einer Planung "außerhalb" der Werkstatt zu vermeiden. Allerdings sind die oben geschilderten Probleme einer Trennung von Planung und Ausführung zunächst nicht thematisiert worden. Statt dessen rückte das Problem der Eingabe von Programmen in den Vordergrund. So entstanden Konzepte und Realisierungen der Erweiterung der Programmierung nach DIN 66025 durch Zyklen für bestimmte Bearbeitungsformen, der graphisch-interaktiven Eingabe und der Kontrolle der eingegebenen Programme durch eine graphische Darstellung der programmierten Verfahrensbewegungen. Allerdings bleiben alle diese Konzepte einer Idee der Trennung von Planung und Ausführung verhaftet. Gerade die neuentwickelten WOP-Systeme (Werkstattorientierte Programmierungs- bzw. Produktionskonzepte) stehen ganz in dieser Tradition (vgl. Blum 1993, S.78). Sie sind im Grunde genommen in

die Werkstatt portierte Planungsinstrumente der Arbeitsvorbereitung (vgl. Bieker 1994, S. 31ff.).

Bei Weiterentwicklungen ist zu berücksichtigen, daß Programme inzwischen ein bekanntes Medium in der Werkstatt sind. Facharbeiter haben den Umgang mit diesem Arbeitsmittel gelernt und nutzen die Chancen, die dieses bietet. So ist in solchen Betrieben, in denen die Erstellung von Programmen durch Facharbeiter in der Werkstatt erfolgt, durchaus eine Verlagerung von Planungsaufgaben aus der Arbeitsvorbereitung und der Musterfertigung hin in die Werkstatt zu den dortigen Facharbeitern festzustellen. An die Stelle einer Fertigung in mehreren Einzelschritten an verschiedenen Maschinen nach dem Verrichtungsprinzip ist in vielen Betrieben die Komplettbearbeitung des Werkstücks an einer Maschine getreten. Die darin liegende Ausweitung von (Fein-)Planungsaufgaben wird von den betroffenen Facharbeitern zumeist ebenso positiv bewertet wie die Möglichkeit, ein Werkstück "nach Programm" zu fertigen.

#### 4.1.4 Programmeingabe: DIN oder WOP oder manuell?

Derzeit erfolgt die CNC-Programmierstellung fast ausschließlich mit solchen Programmierverfahren, bei denen der Bearbeitungsprozeß in all seinen Parametern im voraus beschrieben werden muß. Dabei müssen Steuerbefehle für Verfahrbewegungen, technologische Anweisungen und Maschinenfunktionen verschlüsselt eingegeben werden. In den Werkstätten wird zumeist in einer an DIN 66025 angelegten Programmiersprache programmiert. Es handelt sich dabei um ein alphanumerisches Programmierverfahren, in dem satzweise Verfahr- und Schaltbewegungen der Maschine durch geometrische, technologische und Zusatzanweisungen festgelegt werden. Eine Maschinenaktion mit der Definition der entsprechenden Parameter ergibt zusammen einen Programmsatz bzw. -schritt.

Bei diesen satzorientierten Programmierverfahren sind die Programmsätze in ihrer Wirkung auf die Maschinensteuerung relativ leicht nachvollziehbar. Aus einem DIN-Satz läßt sich erkennen, wie die Maschine verfahren wird.

*"Für mich sind die G-Befehle dasselbe wie das Drehen der Kurbeln für diejenigen, die an konventionellen Maschinen arbeiten. Was für die das Drehen der Kurbel am Tisch nach rechts ist, ist für mich G1."*

Da hier einzelne Maschinenfunktionen definiert werden, kann das Verfahren als prozeßorientiert angesehen werden (vgl. Bieker 1994, S. 12). Allerdings müssen die Facharbeiter einen abstrakten Befehlssatz erlernen und diesen sicher handhaben. Die Entsprechung von Arbeitsgang und Code macht einen großen Vorteil dieses Programmierverfahrens aus, der auch bei Weiterentwicklungen nicht aufgegeben werden sollte.

Bei der graphisch-interaktiven Werkstattprogrammierung (WOP) mit einer zeitlichen Trennung der Geometriefestlegungen eines Bearbeitungsablaufs von den Technologiefestlegungen besteht diese direkte Verbindung von Imagination der Bearbeitungsstrategie und Übersetzung in

einen Code nicht. Die Eingabe der Endkontur ist nicht an dem Prozeß der Entstehung eines Werkstücks aus einem Rohling orientiert, sondern am fertigen Werkstück. Ebenso ist die zeitlich getrennte Eingabe von Geometrie- und Technologieinformationen, die ja nur als Einheit den imaginierten und den später ablaufenden und zu kontrollierenden Prozeß ergeben, eine Entfernung von diesem Arbeitsprozeß und damit eine schwer zu begreifende Abstraktion.

Ein anderes, schon in den Anfängen der NC-Entwicklung erarbeitetes Konzept ist die Programmerzeugung durch die schrittweise Aufzeichnung des manuell mit Handrädern geführten Prozesses (Record-Playback-Verfahren). Hierbei wird, ähnlich wie bei konventionellen Werkzeugmaschinen, der Bearbeitungsprozeß manuell gesteuert, wobei während der Bearbeitung eines Werkstückes die Weg- und Technologieparameter von der Steuerung als Programm gespeichert werden. Allerdings erfordern die bislang auf dem Markt vorfindbaren Record-Playback-Steuerungen ein Arbeitshandeln, das dem bei der konventionellen Bearbeitung gerade nicht entspricht. Die Steuerung der Bearbeitung über Drucktasten oder elektronische Handräder erlaubt keine taktile Rückmeldung der Bearbeitung in die Hand - ein Grund dafür, daß die bislang realisierten Record-Playback-Steuerungen von Facharbeitern eher abgelehnt werden (vgl. Böhle, Rose 1990, S. 30ff.). Für eine solche Programmerstellung müssen keine abstrakten Codes gelernt und gehandhabt werden. Bei entsprechender Gestaltung dieser Technik kann das Erstellen eines Programms quasi als Nebenprodukt zur Zerspanung des ersten Werkstücks "abfallen". Ein unmittelbarer Zusammenhang von intendiertem zu realem Prozeß ist gewährleistet.

Offen bleibt allerdings, inwieweit sich dies technisch bei komplexeren Bearbeitungen, z.B. dem Fräsen von Freiformflächen, realisieren läßt. So ist zu klären, inwieweit bei den mit CNC-Werkzeugmaschinen verbundenen höheren Bearbeitungsgeschwindigkeiten, -genauigkeitsanforderungen und Bearbeitungskomplexitäten eine manuelle Prozeßführung überhaupt möglich ist und in welchem Maße dies bei nicht dem Menschen angepaßter technischer Gestaltung zu neuen Belastungen führt. Hierzu sind noch geeignete technische Realisierungen erforderlich.

Die Möglichkeit einer Vorausplanung der Bearbeitung mit einem anschließenden Test kann bei komplexen Konturen durchaus eine Entlastung gegenüber einer manuellen Regulierung bedeuten. Bei größeren Serien und komplexen Bearbeitungen gewinnt auch die Frage der Handhabung und des Umgangs mit dem Programm an Bedeutung. Wie - d.h. in welchem Modus - kann ein so erstelltes Programm geändert und optimiert werden? Nach Analysen von Dunkhorst (1987) und Holub (1987) werden bei der Fräsbearbeitung im allgemeinen ca. 80 % der Bearbeitungsvorgänge in einfachen meist achsparallelen Schnitten durchgeführt, so daß die Programmerstellung mit einem Record-Playback-Verfahren doch in recht vielen Anwendungssituationen (z.B. kleine Serien, wenig komplexe Konturen) einsetzbar ist. Dort eröffnet es den Facharbeitern die Möglichkeit zu einem erfahrungsgeleiteten, individuellen und explorativem Vorgehen, das direkt an Vorerfahrungen an konventionelle Maschinen anknüpft.

Unbestritten ist allerdings, daß die Möglichkeit eines manuellen Verfahrens der Achsen unverzichtbarer Bestandteil einer CNC-Steuerung sein muß. Es gibt viele Situationen, in denen es sich nicht lohnt, ein Programm im voraus zu erstellen. Die Gründe dafür können vielfältig sein. Vielleicht ist nicht genau festgelegt, wie ein herzustellendes Teil auszusehen hat. Vielleicht muß man sich an die genaue Kontur "herantasten" oder es ist nur die Funktionalität, nicht aber die genaue Form eines Werkstückes beschrieben. Hieraus entwickelt sich die Begründung für ein neues Programmierkonzept, das eine Verschränkung von Planung und Ausführung bei der Fertigung mit CNC-Werkzeugmaschinen unterstützt. CNC-Werkzeugmaschinen sollen zwar manuell mit taktilem Rückkopplung gesteuert werden können, allerdings mit der Möglichkeit einer Unterstützung durch Programmierung mit beschreibenden Verfahren (vgl. Böhle, Carus, Schulze 1993). So kann es für die Fertigung von Einzelteilen effizient sein, daß z.B. das Schrappen achsparalleler Flächen bewegungskompatibel direkt über Joystick oder Handräder gesteuert wird (siehe Kapitel 3.3.1), daß aber beim Gewindebohren ein Programmzyklus eingestellt oder bei komplexen Konturen die Verfahrensbewegungen im vorhinein codiert werden.

Damit wären die Facharbeiter nicht mehr genötigt, alle Verfahrensbewegungen im vorhinein zu codieren. Sie hätten gleichzeitig die Möglichkeit, flexibel auf aktuelle Zustände und Prozeßverläufe einzugehen.

Die manuelle Regulierung ist in diesem Konzept kein ergänzender oder nachträglicher Eingriff in ein Programm, sondern die in den Vordergrund gerückte Form der Steuerung, die durch programmierte Elemente unterstützt wird. Eine solche Konzeption bietet sich für die Einzelteillfertigung an. Hier lohnt es sich oft nicht, ein Programm zu schreiben, und andererseits ist wegen der bestehenden Genauigkeitsanforderungen eine Fertigung auf konventionellen Werkzeugmaschinen nicht angezeigt. Die Fertigung von Werkstücken auf einer so gesteuerten Werkzeugmaschine knüpft in hervorragender Weise an Erfahrungen aus der konventionellen Fertigung an und bietet gleichzeitig die Möglichkeit, neue Erfahrungen mit einer Programmsteuerung zu erwerben.

#### **4.1.5 Ein Programm wird erst beim Einfahren fertiggestellt**

Wie oben geschildert, sehen Facharbeiter ihr im DIN-Satz oder graphisch-interaktiv eingegebenes Programm nur als vorläufiges an. Die Vorläufigkeit des Programms ist nicht nur auf eventuell noch im Programm vorhandene Fehler (z.B. falsche Zeichen), sondern vorwiegend auf im Zusammenwirken mit dem Programm auftretende Einrichtefehler und auf die Optimierung der Technologiewerte bezogen.

Darüber hinaus wird das Programm als offen und veränderbar hinsichtlich der in ihm festgelegten Technologie- und Geometriedaten angesehen. Bei der Fertigung hochkomplexer Werkstücke werden sowohl die Technologie- als auch die Geometriedaten erst im realen Bearbeitungsprozeß festgelegt. Aus der Beobachtung der mit Hilfe des vorläufigen Programms

sich ergebenden Resultate werden dann in einer quasi-experimentellen Herangehensweise die "endgültigen" Werte festgelegt. Dabei werden auch diese Werte nur solange als gültig angesehen, wie sich die Randbedingungen nicht verändern.

Wenn das Programm lediglich als vorläufiges angesehen wird, hat dies Auswirkungen auf den Kontext, in dem die verschiedenen Arbeitsinhalte bei der Tätigkeit mit CNC-Werkzeugmaschinen im Verständnis der Facharbeiter stehen. Damit sind die Arbeitsaufgaben der Arbeitsplanung, der Programmerstellung, des Einrichtens und des Einfahrens sowie der Prozeßüberwachung und der Qualitätssicherung keine im eigentlichen Sinne getrennten Aufgaben, d.h. ihre Abfolge ist nicht sequentiell. Statt dessen sind es aufeinander bezogene Arbeitsinhalte, die in ihrem Zusammenwirken die Fertigung "guter" Werkstücke auf einer CNC-Werkzeugmaschine ermöglichen.

Insbesondere das Einfahren dient der Anpassung der Programme an die konkrete Bearbeitungssituation. An die Stelle der Imagination des Zusammenwirkens von Werkzeug und Werkstück in einer Aufspannung bei der Erstellung des Programms tritt nun die Beobachtung dieses Zusammenwirkens in der realen Bearbeitung. Die aufgrund der äußeren Beschaffenheit von Werkzeugen und Werkstück sowie der Erinnerung an andere Fertigungssituationen entstandene Bearbeitung "im Kopf" wird mit der Beobachtung der realen Vorgänge konfrontiert. Dabei müssen die Imaginationen, die in das Programm umgesetzt worden sind, an die konkrete Bearbeitungssituation angepaßt werden. Gegebenenfalls muß das Programm geändert und optimiert werden.

In diesem Zusammenhang muß aus der Perspektive erfahrungsgeleiteten Arbeitens beachtet werden, wie die CNC-Programme bei den verschiedenen Steuerungs- und Programmierkonzepten den Facharbeitern als Bearbeitungsgrundlage, als Kontroll- und Änderungsgegenstand und bei der Bearbeitung als Orientierungsmedium dienen.

Die Vorstellung von der Bearbeitung ist sowohl die Grundlagen für die Programme als auch für die Überwachung der Fertigung. Da beim Einfahren sowohl die Vorstellung von der Bearbeitung als auch das Programm überprüft werden, sollen auch zukünftige Programmierkonzeptionen den Aspekt der Prozeßanalogie berücksichtigen. Das bedeutet, daß in einem Programm der direkte Bezug zum Bearbeitungsprozeß und eine bearbeitungstechnologische Darstellung der Programmschritte gewährleistet sein müssen. In dieser Analogie liegt der große Vorzug der Programmierung nach DIN 66025 gegenüber einer graphischen Kontureingabe und einer Programmgenerierung durch einen Prozessor. Nach unseren Untersuchungen ist für Facharbeiter, die ihr Programm in einem DIN-Code erstellen, die Vorstellung von den Verfahrbewegungen der Werkzeuge (bzw. der Werkstücke) eng mit dem erlernten Code verbunden. Diese direkte Verknüpfung der vorgestellten Bearbeitung mit den programmierten Verfahrbewegungen kann beim Einfahren eines Programms "mit einem Blick" aktualisiert und auf die Einfahrsituation bezogen werden.

Wenn dagegen die Entwicklung einer Bearbeitungsstrategie eng mit einer Imagination der Bearbeitung verknüpft ist, die Programmeingabe dagegen über die graphisch-interaktive Eingabe einer Kontur erfolgt, aus der



unter Einbeziehung verschiedener Parameter ein Postprozessor ein Programm generiert, so wechseln hier die Ebenen und Logiken, mit denen sich die Facharbeiter auseinandersetzen müssen. Das generierte Programm ist dann ein "fremdes", in das man sich neu "hineindenken" muß. Wenn den Facharbeitern dies Programm beim Einfahren "gegenübertritt", müssen sie mehrere "Vermittlungsschritte" leisten: von den eigenen Imaginationen über die graphische Konturerstellung zum generierten Programm und schließlich zu der Beobachtung der tatsächlichen Verfahrbewegungen. So fällt es schwer, eine Verbindung von Imagination, Programmcode und Verfahrbewegungen herzustellen. Neu zu entwickelnde Programmierkonzeptionen sollten deshalb immer einen direkten Bezug zum Bearbeitungsprozeß und eine bearbeitungschronologische Darstellung der Programmschritte gewährleisten.

Auch während des Einfahrens sollten die Facharbeiter die Möglichkeit haben, das Programm mit Hilfe einer Simulationssoftware zu überprüfen. Eine - nach Bedarf - auch vorlaufende Programmsimulation kann den Prozeß der Überprüfung der laufenden Bearbeitung unterstützen. Eine solche unmittelbare graphische Darstellung des Zerspanungsprozesses einschließlich der Maschinenelemente, Werkzeuge, Spannvorrichtungen usw. erhöht die Transparenz des Programmablaufs. Sie erlaubt eine weitere Orientierung über den Stand der Bearbeitung. Bei der Betrachtung einer Simulationsdarstellung kann eine Verbindung von Imagination und Darstellung leichter als beim Betrachten der Auflistung eines Codes geleistet werden.

#### **4.1.6 Annäherung an die Endkontur: Schritt für Schritt anstelle einer ex ante Planung**

Ebenso wie die Technologiewerte in vielen Fertigungssituationen nicht exakt im vorhinein festgelegt werden können (vgl. Kapitel 4.2), gibt es Situationen, in denen Verfahrenswege nicht exakt im voraus geplant werden können. Bei sehr eng tolerierten Werkstücken ist dieses nicht sofort in einem Schritt auf das Endmaß zu zerspanen. Selbst bei sehr präzisen Werkzeugeinstellgeräten können die Werkzeuge nicht auf ein tausendstel Millimeter genau ausgemessen werden. Überdies kann vor Beginn der Bearbeitung nicht exakt bestimmt werden, ob und inwieweit sich das Werkstück z.B. beim Fräsen in dünnwandigem Material verziehen wird. Dementsprechend kann dieser Reaktion des Werkstücks im Programm nicht abschließend berücksichtigt werden. Bei einer beabsichtigten sofortigen Fertigung auf das angestrebte Endmaß besteht immer die Gefahr, daß das gefertigte Teil außerhalb der Toleranz liegt. Wenn aufgrund einer solchen Festlegung zu viel Material weggenommen wird, kann das Werkstück auch nicht mehr nachgearbeitet werden. Ist das Aufmaß zu klein, besteht die Gefahr, daß die Oberfläche bei einer Abnahme von beispielsweise nur 2 µm Material beschädigt wird.

Gerade bei Passungen entsteht das endgültige Teil Schritt für Schritt, indem jeder Arbeitsgang überprüft wird. In der Regel wird zunächst zu viel



Material stehengelassen, um zu verhindern, daß das tolerierte Endmaß unterschritten wird. Das Werkstück kann daraufhin noch einmal vermessen werden, um zu überprüfen, ob die Abweichung auch wirklich dem errechneten Wert entspricht. Hier übernehmen die Facharbeiter eine Vorgehensweise, die ihnen aus der Fertigung mit konventionellen Werkzeugmaschinen vertraut ist. Dort können die Facharbeiter auf der Grundlage eines vorher erstellten Grobplanes mit der Fertigung eines Werkstücks beginnen und im Verlauf der Fertigung die Planung Schritt für Schritt detaillieren. Sie haben die Möglichkeit, nach einzelnen Arbeitsschritten mit Meßmitteln ihre bisherigen Arbeitsergebnisse zu überprüfen und an diese Ergebnisse anknüpfend weiterzuarbeiten.

Ein solches schrittweises Vorgehen wird von den CNC-Steuerungen nicht unterstützt. Statt dessen müssen die Facharbeiter ein Vorgehen entwickeln, bei dem sie die in der Steuerungskonzeption vorgesehene Reihenfolge der Abläufe "umgehen". Während sie im Programm die Endkontur beschreiben, bringen sie die Variationen über einen "Trick" ins Programm. Sie variieren die Daten der Längen und Durchmesser der Werkzeuge im Werkzeugspeicher so, daß im Fertigungsprozeß zunächst Aufmaße stehen bleiben. Diese Vorgehensweise ist zwar sehr gut den Anforderungen des Produktionsprozesses angepaßt, verlangt aber ein hohes Maß an Aufmerksamkeit und Konzentration. Die Facharbeiter müssen sich die eingegebenen Werte merken und die Differenzen verrechnen. Dabei kann es sehr leicht passieren, daß positive oder negative Differenzen vertauscht oder daß die Stellen hinter dem Komma verschoben werden.

Programmierkonzepte müssen - um den Anforderungen des Fertigungsprozesses gerecht zu werden - die Möglichkeit bieten, ein schrittweises Programmieren zu unterstützen. So sollte es möglich sein, die programmgesteuerte Fertigung an vorher definierten Stellen (Meßpunkten) zu stoppen, um die gefertigten Maße überprüfen (Freifahrstrategie) und dann wieder ins Programm "einzusteigen" (Anfahrstrategie) zu können. Zu einem solchen Konzept gehört aber auch die Möglichkeit, Aufmaße für das Werkstück zu programmieren und erst in einem späteren Programmschritt auf das Endmaß zu fertigen. Eine solche Vorgehensweise der Facharbeiter könnte durch einen modularen Aufbau eines Programms unterstützt werden. Um den Facharbeitern die "Trickserei" in den Werkzeugkorrekturspeichern zu erleichtern, sollten sich dort optional alte und neue Werte vergleichen lassen, um Veränderungen noch einmal nachvollziehen und überprüfen zu können.

#### 4.1.7 Programme als Kommunikationsmittel

Viele Werkstücke werden nicht nur einmal gefertigt, sondern kommen später als Wiederholteile wieder in die Werkstatt. Dementsprechend sollen auch die Programme erneut verwendbar sein. Gerade bei aufwendig herzustellenden Teilen mit entsprechend langen Programmlistings genügt es den Facharbeitern nicht, nur diese "nackten" Programme zu dokumentieren und aufzubewahren. Die Programme stellen für die Facharbeiter nicht

das Produkt dar, das sie sich erarbeitet haben. Statt dessen haben sie sich Gedanken über die Fertigung von Teilen gemacht, haben diese beim Einfahren überprüft, gegebenenfalls revidiert und an die reale Bearbeitungssituation angepaßt. Dieser Prozeß ist nur zum Teil im Programm niedergelegt. Die Schritte, die zu eben diesem Programm geführt haben, sind nicht zu erkennen. Das Programm gibt z.B. keine Auskunft darüber, warum gewisse Werkzeuge genommen werden oder warum an bestimmten Stellen die Bearbeitungsgeschwindigkeit heruntersetzt wurde. Aus diesem Grunde ergänzen die Facharbeiter die Programme um Kommentare und Skizzen, sie erstellen Einrichteblätter, um Programm- und Fertigungsspezifika zu notieren. Die Dokumentationen sollen stets dazu dienen, sich selbst und anderen später die Fertigung des Teils mit dem gespeicherten Programm zu erleichtern. So enthalten diese Unterlagen auch Angaben zu dem im Fertigungsprozeß beobachteten Auffälligkeiten, die bei der Erstellung des Programms noch nicht zu erwarten waren. Deshalb erstellen die Facharbeiter diese Unterlagen nach der Fertigung (und nicht wie die Arbeitsvorbereitung vor der Fertigung).

Allerdings ist die Kommentierung eines Programms auch bei den jetzigen Steuerungen möglich, falls diese über eine alphanumerische Tastatur verfügen. Kommentare erhöhen die Lesbarkeit eines Programms und besitzen bei entsprechender Plazierung im Programm einen hohen Aufmerksamkeitswert. Papiausdrucke erlauben dabei einen schnelleren Überblick als Anzeigen auf einem Bildschirm, die immer nur relativ kleine Ausschnitte aus dem Programm darbieten können. Grundbedingung ist aber, daß die Programme in einer übersichtlichen Form dargestellt sind. Dazu gehören in einem Programmausdruck die aus anderen EDV-Anwendungen bekannten Strukturierungshilfen wie Einrückungen und Leerzeilen, die eine schnelle Orientierung erlauben.

Ein vielversprechender Ansatz wird bei dem in Entwicklung befindlichen Auftragsdispositionssystem CeAFIS (vgl. Fleig, Rundel, Schneider 1993) verfolgt. Es erlaubt, Videobilder der Aufspannungen zusätzlich zum Programm abzuspeichern, um einen visuellen Eindruck der Bearbeitungssituation zu erhalten.

Im übrigen erleichtern verbale und visuelle Beschreibungen des Programms und des Fertigungsprozesses nicht nur die Arbeitssituation des einzelnen Facharbeiters. Sie fördern auch die Zusammenarbeit in Gruppen, weil so die Kommunikation über Programme und herzustellende Werkstücke erleichtert wird.

#### **4.1.8 Programmierkonzepte für die Fertigung**

Facharbeiter in der Werkstatt planen die Bearbeitung eines Werkstückes aus einer spezifischen Fertigungsperspektive, in der sie den Bearbeitungsprozeß imaginativ vorwegnehmen. Die Erstellung eines Programms ist dabei die Umsetzung der Imaginationen des herzustellenden Werkstückes, der Bearbeitungsschritte und den daraus entwickelten Verfahren-

bewegungen. Neu zu entwickelnde Programmierverfahren sollten dementsprechend die Orientierung an den Arbeitsgängen berücksichtigen.

Programme sind Arbeitsmittel, die während des Fertigungsprozesses verändert und an die aktuelle Fertigungssituation angepaßt werden. Programmerstellung und Bearbeitung eines Werkstückes sind für Facharbeiter keine voneinander zu trennenden, zeitlich nacheinander auszuführende Tätigkeiten. Statt dessen sind sie ineinander verwoben. Bei komplexen Fertigungssituationen werden Programme erst während des Bearbeitungsprozesses fertiggestellt. Dies muß in Programmierkonzeptionen berücksichtigt werden. Eine schon entwickelte technische Komponente, die eine solche Konzeption unterstützt, ist die im nächsten Kapitel (4.2) vorgestellte Overrideprotokollierung.

Programmierkonzeptionen müssen aber auch berücksichtigen, daß Programme als Arbeitsmittel zu verwenden sind, daß sie leicht zu verändern, nachzuvollziehen und zu dokumentieren sind und als gemeinsames Verständigungsmittel für Gruppen in der Werkstatt dienen können.

## **4.2 Programmieren während der Bearbeitung: Overrideprotokollierung als Weg zur schrittweisen Programmierung**

Sören Striepe und Annegret Bolte, GhK-IfA Kassel;  
Angelica Costa und Uwe Metzler, IWF Berlin

### **4.2.1 Die Bedeutung der Overridefunktionen für direkte Eingriffe in den Bearbeitungsprozeß**

Facharbeiter sind gegenwärtig bei der Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen aufgrund der realisierten Software und Steuerungstechnik in der Regel gezwungen, ein Programm vor Beginn der Bearbeitung festzulegen. In Kapitel 4.1.5 ist dargestellt worden, daß sie dieses Programm aber als ein vorläufiges begreifen, das erst beim Einfahren an die konkrete Bearbeitungssituation angepaßt werden muß (Bolte 1993).

Die Vervollständigung des Programms erfolgt in einem Prozeß, der durch Ausprobieren und Suchen gekennzeichnet ist. Erstellte Programme sind im Verständnis der Facharbeiter zunächst offen bzgl. der Technologiewerte und bei hochkomplexen Werkstücken auch hinsichtlich der Geometrie. Diese Parameter werden erst in der realen Bearbeitung endgültig festgelegt (Striepe 1994).

Eine besondere Bedeutung kommt dabei den Overridefunktionen zur Regulierung der Vorschub- und Drehzahlgeschwindigkeiten vor bzw. während der Bearbeitung zu. Sie sind die wesentliche Option für Regelungseingriffe, die den Facharbeitern zur unmittelbaren Prozeßregulation zur Verfügung stehen, und bieten ihnen die Möglichkeit zur situationsadäquaten Anpassung der geplanten und im Programm festgelegten Technolo-

gewerte. Sie erlauben den Facharbeitern, eine aktuelle Einschätzung des Zerspanungsprozesses durch einen unmittelbar regelnden Eingriff direkt in eine Maschinenoperation umzusetzen und das Ergebnis dieses Eingriffs sofort zu beurteilen. Alle anderen Eingriffe (z.B. Änderungen der Aufspannungen, der zugrunde gelegten Bearbeitungsstrategie, der Werkzeuge, der Verfahrenswege) können nur im Anschluß an eine Unterbrechung des programmgesteuerten Ablaufs durchgeführt werden.

Dabei sind zwei durch die Overridefunktionen gegebene Eingriffsmöglichkeiten von besonderer Bedeutung:

- Das Verfahren mit sehr geringen Geschwindigkeiten und das unmittelbare "Herunterregeln" aus Sicherheitsgründen einerseits und
- das Optimieren des Bearbeitungsprozesses durch Variation der Geschwindigkeiten andererseits.

Das langsame Verfahren wird vor allem zum Heranfahren an das Werkstück, zum Ankratzen, zum Anfahren der Programmsätze und zum schnellen Reduzieren der Geschwindigkeiten bei Kollisionsgefahren genutzt. Gerade beim Einfahren haben die meisten Facharbeiter *"die Hand immer am Potentiometer"*. Durch die Möglichkeit des unmittelbaren Eingreifens wird ihr Sicherheitsgefühl erhöht.

Mit den Overridefunktionen werden darüber hinaus die Technologiewerte im Bearbeitungsprozeß verändert und an die spezifische Prozeßsituation angepaßt und optimiert. Damit bieten sie den Facharbeitern außerdem die Möglichkeit, neue Fertigungserfahrungen zu sammeln, Grenzen und Möglichkeiten auszutesten. Somit unterstützen die Overridefunktionen ein exploratives Vorgehen.

Allerdings ist die Übernahme der manuell optimierten Overridewerte in ein Programm bei den meisten CNC-Steuerungen umständlich. Sie erfordert eine Unterbrechung des Bearbeitungsprozesses, um den Editor aufzurufen, dort Änderungen vorzunehmen und anschließend das Programm wieder neu zu starten. Eine andere Möglichkeit ist es, sich die als optimal eingeschätzten Werte zu merken bzw. zu notieren, um diese dann im Anschluß an den Einfahrvorgang ins Programm zu übernehmen. Beide Wege sind aufwendig und fehleranfällig. Abhilfe verspricht die neuentwickelte Komponente der Overrideprotokollierung, die sowohl eine Protokollierung der optimierten Schnittwerte als auch deren Übernahme ins NC-Programm erlaubt.

Bevor die neue Komponente in ihren technischen Einzelheiten dargestellt wird, soll entsprechend unseren empirischen Befunden zunächst beschrieben werden, wie Facharbeiter Schnittwerte im Programm festlegen und diese dann im Bearbeitungsprozeß an die spezifische Situation anpassen. Aus der Beschreibung dieses Handelns wird dann die Bedeutung der neuentwickelten Funktion der Overrideprotokollierung arbeitswissenschaftlich abgeleitet.

#### 4.2.2 Die Festlegung von Schnittwerten im Programm ist "Erfahrungssache"

Facharbeiter bestimmen die Technologiewerte für Drehzahl und Vorschub aufgrund von Erfahrungswerten. *"Das ist Erfahrung."*<sup>1</sup> Dabei beruhen die Erfahrungswerte auf den Vorerfahrungen aus anderen Bearbeitungssituationen und auf einem Grundverständnis der auftretenden Kräfte, das die Facharbeiter in Qualifizierungsphasen und bei der konventionellen Bearbeitung erlernt haben:

*"Man muß auf jeden Fall gelernt haben, konventionell zu fräsen. Sonst habe ich gar keine Vorstellung davon, was der Fräser da eigentlich macht. Angenommen, ich hätte von Anfang an nur CNC gefräst, dann würde ich gar nicht wissen, woraus ein unterschiedlicher Vorschub in Stahl, Titan, Messing oder Aluminium resultiert. ... Wenn ich das nicht anhand von Kräften, die auftreten, selbst mal erprobt habe, kann ich mir davon gar kein Bild machen. ... Man kann nicht jemandem sagen: 'Schau in dein Tabellenbuch'."*

Die in Tabellen stehenden Werte können demnach nicht mehr als Anhaltspunkte sein, die der spezifischen Bearbeitungssituation (Aufspannungen, Materialeigenschaften, zu erzielende Oberflächenqualitäten) angepaßt werden müssen. Ein Grund für die Facharbeiter, die Tabellenwerte nicht zu übernehmen, liegt darin, daß diese den Werkzeugverschleiß nicht genügend berücksichtigen. Zu hohe Technologiewerte verringern die Standzeiten der Werkzeuge unter Umständen so weit, daß sich der versprochene Zeitgewinn in sein Gegenteil verkehrt.

Zunächst setzen die Facharbeiter Technologiewerte in das Programm ein, die sich in ähnlichen Fertigungssituationen bewährt haben und die damit einen Anhaltspunkt bieten. Allerdings haben diese Werte für die Facharbeiter einen vorläufigen Charakter, sie müssen in der realen Bearbeitungssituation noch überprüft und gegebenenfalls angepaßt werden:

*"Man hat da so seine Standardwerte. Die nimmt man und dann ändert man die, wenn man Späne sieht. Also entweder höher oder tiefer."*

#### 4.2.3 Überprüfung der Schnittwerte beim Einfahren

Die Facharbeiter betrachten die in den Programmen festgelegten Technologiewerte als vorläufige, die sich im realen Bearbeitungsprozeß erst noch bewähren müssen. Wenngleich die aus anderen Fertigungssituationen gewonnenen Annahmen über den Wirkungszusammenhang von Werkzeug und Material in die Bestimmung der Technologiewerte mit einfließen, ist doch das tatsächliche Bearbeitungsverhalten nicht vorauszusehen. Im Endeffekt können die Facharbeiter das Verhalten des Materials immer erst

<sup>1</sup> Dieses Zitat ist ebenso wie die folgenden Zitate eine Passage aus einem der zahlreichen Interviews, die wir im Rahmen unserer empirischen Untersuchungen geführt haben. (Bolte 1993; Striepe 1994)

in der konkreten Fertigungssituation genau beurteilen. Anhand dieser Überprüfung der programmierten Schnittwerte können sie neue Werte bestimmen und diese in das Programm übernehmen.

Die Facharbeiter müssen bereits während des Einfahrprozesses beurteilen, ob die gewählten Technologiewerte geeignet sind, das erste und die weiteren Teile der Serie zu fertigen. Bei falsch gewählten Schnittwerten besteht die Gefahr, daß Werkzeuge brechen oder die Werkstücke nicht den Anforderungen an die Oberflächenqualität entsprechen. Damit muß der Zerspanungsprozeß auch im Hinblick auf die gewählten Technologiewerte beobachtet werden. Bei der Fertigung mit konventionellen Werkzeugmaschinen sind die Wirkkräfte und damit der Bearbeitungsprozeß direkt *"in den Händen"* spürbar. Dieser direkte Bezug zum Bearbeitungsprozeß entfällt bei der CNC-Fertigung. Ebenso ist die visuelle Kontrolle des Prozesses durch die Kapselung der Maschinen und den Einsatz von Kühlschmiermitteln nur eingeschränkt möglich. Deshalb müssen sich die Facharbeiter zur Beurteilung der *"richtigen"* Schnittgeschwindigkeiten auch an anderen Indikatoren orientieren.

Die Facharbeiter hören stattdessen auf die Bearbeitungsgeräusche, sie achten auf Vibrationen des Werkstücks, der Werkzeugaufnahme oder der Aufspannung, sie beurteilen die Farben und Formen der Späne und versuchen trotz der oben geschilderten Einschränkungen, die Oberfläche des Werkstücks zu beurteilen. Allerdings lassen sich weder die Merkmale der Indikatoren noch deren Bedeutung exakt und eindeutig *"objektiv"* bestimmen oder messen (Böhle 1992). Stattdessen vergleichen die Facharbeiter die konkret wahrnehmbaren Vorgänge mit den Beobachtungen, die sie in der Vergangenheit in anderen Fertigungssituationen gemacht haben und den daraus entstandenen Vorstellungen über das *"richtige"* Zusammenwirken von Werkzeug und Material.

Dabei kommt den wahrnehmbaren Geräuschen aus dem Arbeitsraum eine besondere Bedeutung zu:

*"Ob die Schnittgeschwindigkeit richtig gewählt ist, das hört man dann halt, das ist eine Gefühlssache. ... Ich höre, wie der Fräser da durch das Material fährt, ob er anfängt zu pfeifen, zu vibrieren, oder ich sehe, ob er anfängt zu qualmen oder ob er stumpf wird."*

Hier liegt auch ein Einsatzgebiet des vom CeA-Verbund entwickelten Klopfensors (siehe Kapitel 3.2.2).

Vibrationen, Geräusche und Späne sind nicht als isolierte Indikatoren für die Bearbeitungssituation zu betrachten, da nur die Gesamtheit der beobachteten Eindrücke Aufschluß über die Bearbeitung gibt. Der eine Indikator weist auf eine eventuelle kritische Situation hin, die durch die bewußte Wahrnehmung eines anderen Indikators weiter abgeklärt werden muß. Bestimmte Geräusche und Vibrationen an der Kapselung geben Hinweise darauf, daß an der Gesamtsituation etwas *"nicht stimmt"*. Die Beurteilung der einzelnen Indikatoren erfolgt dabei in Bezug zum Gesamtkontext der Bearbeitungssituation. Ein Geräusch kann in einer Situation *"richtig"*, in der anderen *"falsch"* sein. Erst im Zusammenhang mit anderen Parametern ist eine Interpretation und Bedeutungszuweisung möglich. Die Ursachen für ein *"falsches"* Geräusch oder ein Vibrieren der Teile müssen aus der Bearbeitungssituation heraus abgeklärt werden. Ist die Aufspannung nicht



fest, stimmt das Verhältnis von Drehzahl und Vorschub nicht, ist der Vorschub für dieses Material zu hoch? Die Vermutungen über die Ursachen müssen durch Eingriffe in den Prozeß bestätigt oder verworfen werden. Diese Eingriffe erfolgen zunächst durch die Regulierung der Vorschübe und Drehzahlen mit dem Overrideregler, wobei die neuen Werte gegebenenfalls ins Programm übernommen werden.

#### 4.2.4 Programmoptimierung während der Bearbeitung

Wenn ein Programm dahingehend überprüft ist, ob mit ihm ein Werkstück entsprechend den Qualitätsanforderungen überhaupt gefertigt werden kann, können die Facharbeiter das Programm in einem nächsten Schritt optimieren. Dabei werden aus der Beobachtung der Fertigung neue Schnittwerte bestimmt und somit das Programm optimiert. Die Facharbeiter testen aus, ob sich das Werkstück nicht auch schneller fertigen läßt oder sich die Oberflächen noch verbessern lassen:

*"Wenn das Programm richtig steht und man sieht: 'Bei den Werten sind die gut gelaufen', dann kann man mal sehen, ob wir da noch ein bißchen höher kommen oder ob wir die Werte da lieber stehenlassen."*

Die Entscheidung, ob an den Werten noch "herumexperimentiert" wird oder nicht, hängt von der spezifischen Situation und den Beobachtungen bei der Fertigung des ersten Teils ab:

*"Wenn ich merke: 'Das Material ist gut' - das ist ja von Guß zu Guß verschiedenen - 'ich könnte noch schneller werden', dann riskiere ich es einfach einmal."*

In der konkreten Bearbeitungssituation wird erprobt, mit welchen maximalen Schnittwerten die Bearbeitung erfolgen kann und wann grenzwertige Situationen erreicht werden. *"Langsam höher drehen und an die Grenzen rantasten."*

Die höchsten Werte sind aber nicht immer die optimalen Werte. Berücksichtigt werden muß auch, wie schnell die Werkzeuge stumpf werden und wie oft sie dementsprechend ausgetauscht werden müssen:

*"Man sieht das schon an der Fläche, ob man noch schneller fahren kann. Man fängt z.B. mit 100 % Vorschub an, macht das Teil und guckt sich das an. Wenn das in Ordnung ist, dann versucht man das nochmal mit 120 %. Es kommt ja auch immer darauf an, wie groß die Stückzahl ist, die man machen muß. Es nützt ja nichts, wenn nach 15 Teilen der Fräser stumpf ist. Dann macht man eben langsamer und bekommt 25 Teile raus. Das muß man immer ein bißchen abwägen, wie es am besten geht."*

#### 4.2.5 Handhabung herkömmlicher Overridefunktionen an CNC-Werkzeugmaschinen

Zwar verfügen fast alle derzeit angebotenen CNC-Steuerungen für die Fräs- und Drehbearbeitung über Overridefunktionen für Vorschubgeschwindigkeit und Spindeldrehzahl (Hoffmann und Martin 1990; Martin

u.a. 1992). Allerdings wird die explorative Vorgehensweise der Facharbeiter von einigen Steuerungen nicht hinreichend unterstützt. So liegen die Regelbereiche der angebotenen Steuerungen für den Vorschub meist bei 0 % bis 120 % und für die Drehzahl meist nur im Bereich von 50 % bis 120 %. Diese Grenzen werden von den Facharbeitern als zu eng eingeschätzt. Eine solche Vorgabe führt dazu, daß die Schnittwerte während des Einfahrens im Programmeditor geändert werden müssen:

*"Wenn der Overridebereich nicht ausreicht, muß ich aussteigen, ändern und neu anfahren."*

Dies wird als sehr umständlich empfunden. Aus diesem Grund wenden die Facharbeiter häufig einen Trick an: Sie programmieren z.B. bei Vorschubwerten gezielt einen überhöhten Wert, um auf dieser Basis das gesamte Optimierungsspektrum *"bis runter zu 0 %"* als Spielraum zu haben. Aus diesen Befunden sind die Notwendigkeit von größeren Overrideregelbereichen und eine möglichst einfache und direkte Übernahmemöglichkeit von Overrideschnittwerten ins Programm abzuleiten.

Bei den bisherigen Untersuchungen zur Overridehandhabung wurde deutlich, daß möglichst unmittelbare Rückmeldungen der Veränderungen aus dem Prozeß und zum Grad der Manipulation wichtig sind. Facharbeiter benennen als direkte Prozeßindikatoren zur Orientierung beim erfahrungsgeleiteten Overrideeinsatz Bearbeitungsgeräusche, Maschinenschwingungen, Späneform und -flug sowie die Werkstückoberfläche. Wichtige Rückmeldungen erhält das Maschinenpersonal außer über den Blickkontakt zur Wirkstelle aber auch direkt über das Eingabeelement: So nehmen die Facharbeiter Verdrehungen des Reglers wahr, sie spüren Rasterungen und Schwingungen und - bei kraftrückgekoppelten Eingabeelementen - auch Widerstände (siehe Kapitel 3.2.2). Diese Rückmeldungen werden von den Facharbeitern als sehr bedeutend für die Beurteilung des Zusammenhangs von intendiertem und "getätigtem" Grad des Prozeßeingriffs mit den real bewirkten Prozeßreaktionen eingeschätzt.

Die hier dargestellten sinnlich wahrnehmbaren Rückmeldungen werden von den Facharbeitern mit ihren mentalen Repräsentationen für einen "guten Prozeß" unter Berücksichtigung der im voraus geplanten und festgelegten Programminhalte (Bearbeitungsablauf, Schnittwerte, Programmherkunft) abgestimmt. Sie sollten dementsprechend im Hinblick auf die erfahrungsgeleitete Nutzung gestaltet sein.

#### **4.2.6 Gestaltungsanforderungen an die Overridefunktionen**

Overridefunktionen und Overrideprotokollierung müssen hinsichtlich Eingabeelementen und Optionen für Rückmeldungen so gestaltet sein, daß sie dem Arbeitshandeln der Facharbeiter bei Prozeßwahrnehmungen und -eingriffen entsprechen. Hier ist ein möglichst direkter sinnlicher Zugang zum Bearbeitungsprozeß durch die Gestaltung der gesamten Benutzungsoberfläche der Werkzeugmaschine anzustreben (Bolte u.a. 1993).

Die Eingabeelemente haben - wie oben dargestellt - eine wichtige Funktion für die Orientierung bei der Benutzung der Overridefunktionen zur Prozeßoptimierung (taktile Wahrnehmbarkeit der Verdrehung der Regler, taktil spürbare Inkremente usw.). Durch die Gestaltung der Eingabeelemente kann dies aber noch in wesentlich größerem Maße, beispielsweise durch einen kraftrückgekoppelten Override-Drehschalter, unterstützt werden. Bei den Untersuchungen hat sich bestätigt, daß Drehschalter und Handräder gegenüber Tastknöpfen als besser geeignet angesehen werden, da sie einerseits mehr "Gefühl" erlauben und andererseits der Grad der Overridebeeinflussung direkt im Handgelenk kinästhetisch gespürt werden kann.

Für die Facharbeiter spielen bei der Prozeßoptimierung die Anzeige des Programmes und die über zusätzliche Anzeigen am Bildschirm oder als grafische Rasterung direkt am Drehknopf visualisierte Darstellung für Soll- und Istwertanzeigen zunächst eine untergeordnete Rolle. Sie werden zumeist erst nach Beendigung des Optimierungsvorgangs beachtet, um die eingeregelter Werte zu überprüfen:

*"Auf die Prozentanzeige gucke ich erst dann, wenn ich soweit fertig eingereguliert habe, daß ich meine, es ist gut."*

Um diese Überprüfung zu ermöglichen, müssen diese Anzeigen jederzeit einsehbar sein und selbsterklärend gestaltet werden. Dies gilt insbesondere für die Programmdarstellung mit den hierin festgelegten Technologieparametern, welche für die Overrideprotokollierung von zentraler Bedeutung sind.

#### 4.2.7 Technischer Lösungsansatz und prototypische Realisierung

Basierend auf den durchgeführten Betriebserhebungen und Befragungen und den dargestellten Vorüberlegungen wurde die Funktionalität der CNC-Overrideprotokollierung für folgende zwei Benutzungsaspekte konzipiert:

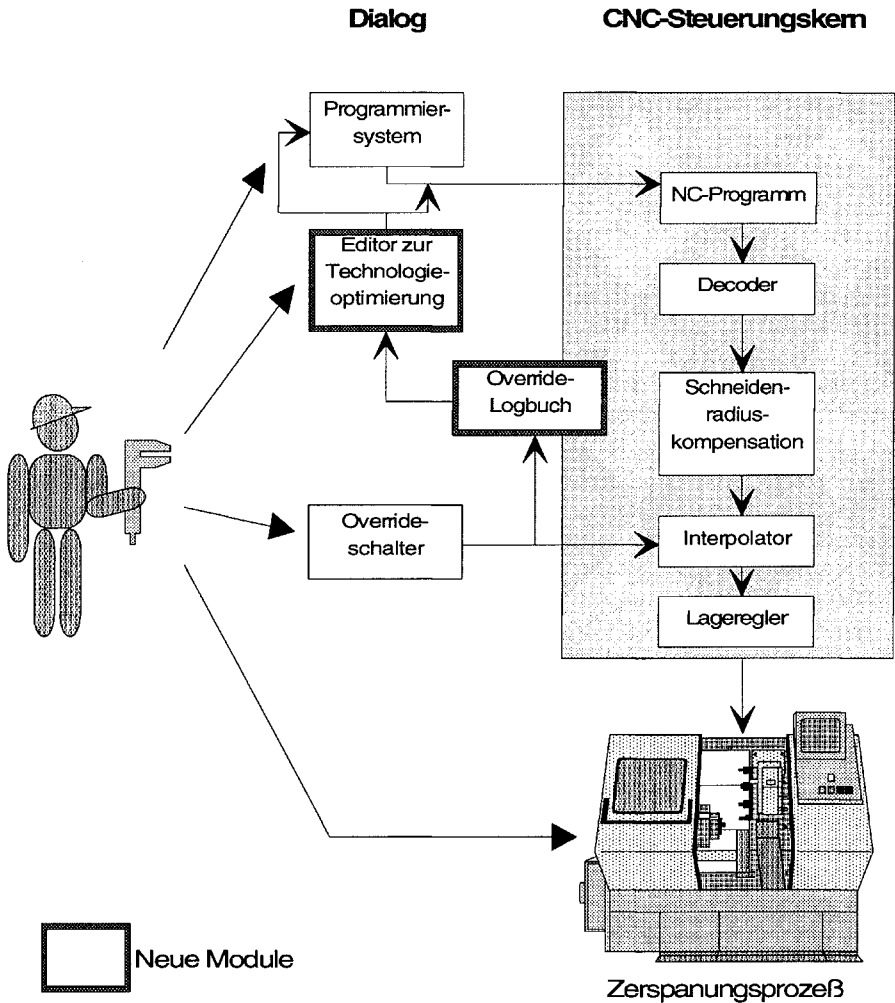
1. Das Optimieren einzelner satzorientiert festgelegter Technologiewerte  
Das NC-Programm wird mit allen Schnittwerten wie bisher komplett im voraus erstellt. Beim Einfahren werden die veränderten Overridewerte vom System protokolliert. Anschließend kann der Facharbeiter auf komfortable Weise das Programm mit den programmierten Soll- und den tatsächlich "gefahrenen" Ist-Technologiewerten vergleichen und gegebenenfalls die protokollierten Werte übernehmen und bei Bedarf neue NC-Sätze hinzufügen.
2. Das Programmieren mit einmalig für das gesamte NC-Programm festgelegten "Referenz"-Schnittwerten  
Bei der Erstellung des NC-Programmes gibt der Facharbeiter nur einmal zu Beginn eines Programmes je einen Wert für Vorschub und Spindeldrehzahl an. Während des Einfahrens reguliert er mit den Overrideregulern für jeden Verfahrensweg die zu Programmbeginn festgelegten Tech-

nologiewerte. Diese sind somit eine Art vorläufige Referenz für die verfahrenswegspezifische Feinfestlegung in der Bearbeitung. Durch die Protokollierung dieser Werte besteht die Möglichkeit, die während der Zerspanung satzweise regulierten Werte in das NC-Programm zu übernehmen.

Die Protokollierfunktion für manuell regulierte und "gefährene" Override-werte ermöglicht eine Aufzeichnung von optimierten Prozeßparametern. Durch die Vergleichsmöglichkeit zwischen den programmierten und den tatsächlich gefahrenen Schnittwerten hat das Maschinenpersonal die Möglichkeit, den Bearbeitungsprozeß zu reflektieren und neue "Erfahrungswerte" zu generieren.

Für die Protokollierung der Overridewerte sind in der CNC-Steuerung zwei neue Funktionsbausteine zu realisieren (siehe Bild 4.1):

- Der erste Baustein ist ein Override-Logbuch zur Protokollierung der Vorschub- und Drehzahlwerte, der Satznummern und der Ist-Koordinaten. Die Protokollierung kann während des NC-Programmlaufes ein- und ausgeschaltet werden. Dies erlaubt eine Erfassung der für den Facharbeiter wichtigsten Arbeitsschritte innerhalb der Zerspanung. Im Protokolliermodus werden bei jeder Betätigung des Potentiometers die genannten Werte im Logbuch abgespeichert. Die Ist-Koordinaten sind wichtig, um zu ermitteln, an welcher Ist-Position der Overridewert verändert wurde.
- Der zweite Baustein ist ein Editor, der die Darstellung und Übernahme der protokollierten Daten im Zusammenhang mit dem NC-Programm ermöglicht. NC-Programm und Override-Logbuch werden nebeneinander dargestellt, um einen Vergleich der Daten durch die Facharbeiter zu gewährleisten. Der angewählte NC-Satz sowie die dazugehörigen protokollierten Schnittwerte werden farblich hervorgehoben und invers dargestellt, so daß eine leichte Zuordnung möglich ist. Die Facharbeiter können dann entscheiden, ob und welche der gefahrenen Technologiewerte sie in das NC-Programm übernehmen oder ob sie andere Werte manuell eingeben wollen. Es besteht auch die Möglichkeit, alle Technologiewerte komplett für das gesamte NC-Programm zu übernehmen. Werden bei einem Verfahrensweg nacheinander mehrere situational optimale Technologiewerte ermittelt und eingeregelt (z.B. eine kontinuierliche Abnahme eines Vorschubwertes beim Bohren), so werden diesem Satz auch mehrere Werte zugeordnet, die in Abhängigkeit von den Achskoordinaten dargestellt werden. Der Programmsatz wird in mehrere Sätze "aufgesplittet".

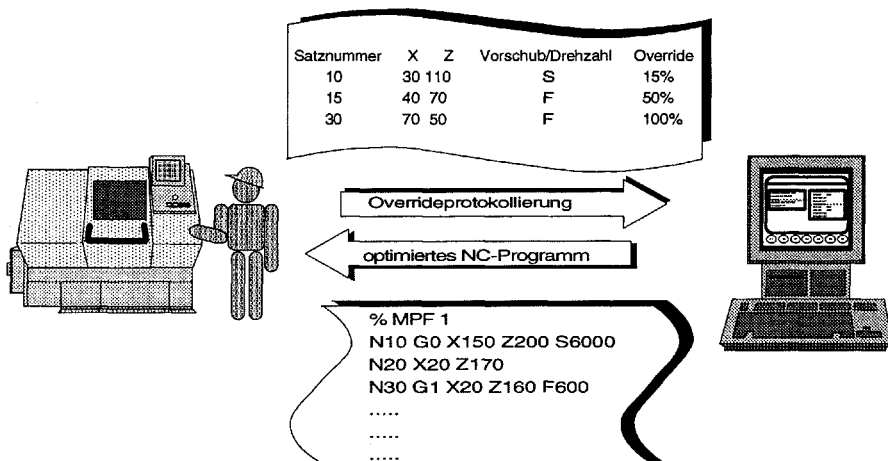


**Bild 4.1:** Neue Module einer CNC-Steuerung zur Realisierung der Overrideprotokollierung

#### 4.2.8 Funktionalität des Prototypenaufbaus

Die Funktion der Overrideprotokollierung ist prinzipiell für verschiedene Bearbeitungsverfahren (Drehen, Fräsen, Schleifen, usw.) gleichermaßen geeignet. Zunächst wurde ein Prototyp für die Drehbearbeitung realisiert, der aus einer Böhlinger Drehmaschine mit SINUMERIK 880T-Steuerung und einem externen PC mit dem Betriebssystem Windows 3.1 besteht. Ein weiterer Prototyp für die Fräsbearbeitung wurde an einem Hüller-Hille-Bearbeitungszentrum mit SINUMERIK 880M-Steuerung installiert.

Die SPS der SINUMERIK-Steuerung wurde um ein zusätzliches Programm erweitert. Damit ist es möglich, Änderungen des Overrideschalters zu detektieren und den Overridewert, die aktuelle Satznummer und die Ist-Position (X, Z und ggf. Y) zu übertragen (siehe Bild 4.2). Diese Konfiguration erwies sich für die Laborversuche als geeignet. Für die Weiterentwicklung wird aber eine steuerungsintegrierte Lösung angestrebt, in der die Overrideprotokollierung auch hinsichtlich Eingabetechniken und Maskengestaltung in die Benutzungsoberfläche der CNC-Steuerung integriert wird.



**Bild 4.2:** Overrideprotokollierung im Laboraufbau

Auf dem externen Rechner befinden sich ein Programm zur Kommunikation mit der CNC-Steuerung, das Override-Logbuch und der Editor. In einem ersten Schritt wird vom Facharbeiter das aktuelle NC-Programm auf den PC übertragen. Danach werden das NC-Programm an der CNC-Werkzeugmaschine sowie das Override-Logbuch auf dem PC gestartet. Wird der Override-Drehschalter betätigt, überträgt die Werkzeugmaschine mittels der seriellen Schnittstelle die oben genannten Daten an den PC. Die Protokollierfunktion kann während der Zerspanung ein- und ausgeschaltet werden, um ganz gezielt bestimmte Arbeitsschritte zu erfassen. Am Ende des Bearbeitungsprozesses kann der Facharbeiter die Kopie des NC-Programms mit der dazugehörigen Logbuchdatei wie oben geschildert im Editor überarbeiten. Das verbesserte NC-Programm wird über die serielle Schnittstelle an die CNC-Steuerung zurück übertragen und kann jetzt mit den übernommenen Werten abfahren oder weiter optimiert werden. Der Editor weist folgende Merkmale auf:

- Das NC-Programm mit den "Soll"-Schnittwerten und das Overrideprotokoll mit den gefahrenen "Ist"-Technologiewerten werden nebeneinander dargestellt (siehe Bild 4.3).



- Der aktuelle NC-Satz sowie die dazugehörenden Overridewerte werden farblich hervorgehoben und invers dargestellt.
- Die protokollierten Overridewerte können einzeln oder blockweise in das NC-Programm übernommen werden.
- NC-Sätze können geteilt bzw. neu eingegeben oder gelöscht werden.
- Es gibt eine Undo-Funktion für die Rücknahme aller vorgenommenen Änderungen.

Maschine	Programm	Simulation	Parameter	Dienste		
<b>Maschine/Einfahren/Overrideprotokollierung</b>						
NC-Programm: %1002		Protokoll				
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">           N190 G01 X100 Z310 F750            N200 G01 G9 F250 X95  <b>N210 Z91</b>            N220 G01 X105 Z91 F750            N230 G01 Z310         </div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">           N10 Z603.086 S570            N50 Z596.837 S600            N65 Z593.420 F187            N80 Z581.283 F237  <b>N210 Z562.854 F235</b>            N210 Z537.662 S630            N210 Z523.114 S660            N210 Z456.505 F300            N250 Z442.384 F350 ↑         </div>				
<b>Informationszeile</b>						
Programm empfangen	▼	▲	Protokoll an / aus	Optimieren	Programm senden	Ende
S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7

Bild 4.3: Masken- und Dialoggestaltung des Editors zur Programmoptimierung

#### 4.2.9 Die Erprobung des Prototyps durch Facharbeiter

Der Prototyp der Overrideprotokollierung wurde zunächst in Labor- und dann später in Betriebsversuchen zusammen mit Facharbeitern getestet (Striepe 1994). Dabei wurden die Umgangsweisen der Facharbeiter mit den Maschinen und den neuen Komponenten beobachtet und in Interviews thematisiert. Die in den Laborversuchen festgestellten Verbesserungsmöglichkeiten des ersten Prototypen hinsichtlich der Editierfunktionen und des Maskenaufbaus wurden bei dem in den Betriebsversuchen eingesetzten Prototypen berücksichtigt.

In der Untersuchung hat sich gezeigt, daß die Facharbeiter die Overrideprotokollierung gut in ihr Arbeitshandeln integrieren können. Während des Einfahrens des Programms nutzen sie die Overridefunktion für den Vorschub sehr intensiv. Im Anschluß daran verändern sie die zu optimierenden Programme schrittweise in der Chronologie der Bearbeitung. Die

Facharbeiter gehen Programm und Protokoll durch, sie stellen sich dabei in der Rückschau den Bearbeitungsprozeß vor und erinnern sich ihrer Prozeßeingriffe. So können sie über eine Übernahme der eingeregelter Werte entscheiden:

*"Man überlegt und spielt die Bearbeitung noch einmal im Kopf durch und sagt sich : 'Es war in Ordnung, ich lasse es so.' Oder : 'Hier könnte ich es etwas schneller machen.' Da übernehme ich dann die einregulierten Werte."*

Die so optimierten Programme erweisen sich in der Regel bei einem weiteren Einfahrvorgang als nicht mehr weiter optimierungsbedürftig.

Es ist zu erwarten, daß die Gewißheit über eine komfortable und sichere Protokollier- und Übernahmemöglichkeit an der Maschine dazu führen wird, daß die a priori-Festlegung der Schnittwerte weniger detailliert erfolgen muß. Verfahrenswege und Bearbeitungszyklen müssen nach diesem Konzept nur mit groben Schnittwerten festgelegt werden. Durch verbesserte Optimierungsoptionen wird der Grad der Anforderungen an die Planungsgenauigkeit verringert. Die Programmierer oder die Facharbeiter müssen dann lediglich Rahmen- oder Grobprogramme im voraus schreiben. Diese dienen dann an der Maschine als Referenz und Grundlage für die Feinoptimierung mit Hilfe der Override-, Protokollier- und Übernahme-funktionen.

Facharbeiter erwarten beim Einfahren durch diese Komponente weniger Unterbrechungen für umständliche Programmänderungen im Editor und weniger Merk- bzw. Notieraufwand: *"Die Idee, daß man den Vorschub vorläufig gewähren läßt, diese optimierten Werte festgehalten werden und man dann nachträglich was ändert, ist prima. Dann muß man nicht sofort ins Programm einsteigen, Programm anhalten und ändern oder sich das alles erstmal irgendwo aufschreiben. Manchmal gibt es ja vieles zu ändern, man behält ja nicht alles im Kopf, in welchem Satz etwas zu ändern war."*

Besondere Vorteile durch die Komponente Overrideprotokollierung sehen die Facharbeiter vor allem bei größeren Auftragslosen mit Werkstücken, bei denen der häufige und intensive Overrideeinsatz erforderlich ist. Dies gilt beim Drehen besonders für Werkstücke mit einem ungünstigen Verhältnis von Länge und Materialstärke und beim Fräsen für die Bearbeitung dünnwandiger Teile.

Bei den bisher durchgeführten Untersuchungen zeigte sich, daß eine Übernahmemöglichkeit von Technologiewerten ins NC-Programm durch die Overrideprotokollierung das sinnliche Erfahren der Bearbeitungsprozesse und das Erinnern und Einschätzen (ohne zu großen Gedächtnis- bzw. handschriftlichen Aufzeichnungsaufwand) von protokollierten Werten unterstützt. Auf diese Weise kann auch eine prozeßnähere - vom "Groben ins Detail" gehende - "Schritt für Schritt" Programmierung unterstützt werden:

*"Die Werte müssen dann nicht immer 100 % im voraus geplant werden."*

Somit stellt die Override-Protokollierung einen ersten Schritt hin zu Systemkonzepten dar, die die Überwindung der Trennung von Planung und Ausführung auch bei der Fertigung mit CNC-Werkzeugmaschinen erlauben.

Für den alltäglichen Einsatz muß die Overrideprotokollierung als integrierter Bestandteil der CNC-Steuerung angeboten werden. Die CNC-Werkzeugmaschine und die CNC-Steuerung sind für die Facharbeiter "ihr" Ort des Handelns. Zu diesem Arbeitsmittel suchen sie auch während der Programmoptimierung den Kontakt, um die Erinnerung an den Bearbeitungsprozeß zu unterstützen. Eine Integration der Overrideprotokollierung macht damit CNC-Werkzeugmaschine und CNC-Steuerung zu einem Werkzeug, das dem Arbeitshandeln der Facharbeiter besser entspricht als bisherige Konzepte.

### **4.3 Prozeßführung und bearbeitungsorientierte Steuerungsfunktionalität an Werkzeugmaschinen**

Peter Ligner, FGAT Berlin

#### **4.3.1 Anforderungen an eine bearbeitungsorientierte Prozeßführung**

Geht man vom gegenwärtigen Entwicklungsstand und den sich abzeichnenden Entwicklungslinien im Werkzeugmaschinenbau aus, so muß festgestellt werden, daß das tradierte Übergangsmodell im Sinne eines eindeutigen Trends und einer stufenweisen Höherentwicklung vom einfachen Werkzeug über die Maschine bis hin zum sich selbststeuernden Automaten immer weniger den differenzierten Produktionsbedingungen insbesondere der Einzel- und Kleinserienfertigung als auch dem realen Arbeitshandeln an modernen Werkzeugmaschinensystemen gerecht wird (Böhle, Carus und Schulze 1993).

Dabei bekommt die auf diesem Automationspfad aufgesetzte Entwicklungslinie der CNC-Steuerung einen ambivalenten Charakter. Zum einen kann die CNC-Steuerung als strategische Komponente im Werkzeugmaschinenbau angesehen werden, denn im Rahmen des Systemkonzepts von Werkzeugmaschinen ist die CNC als integraler Bestandteil des Maschinensystems sowohl Hauptträger der technologischen Funktionalität als auch der Benutzungsfunktionalität, steht in enger Wechselwirkung mit den klassischen maschinentechnischen Komponenten und integriert als technisches Subsystem der Werkzeugmaschine die Applikationsebene einschließlich Benutzungsoberfläche, CNC- und SPS-Kernfunktionen sowie Antriebselektronik und -systeme (Ligner 1993).

Zum anderen zeichnet sich ab, daß Zielsetzung und Leitbilder von automatisierten Bearbeitungsprozessen und darauf bezogene Steuerungskonzepte gerade dort auf Grenzen stoßen, wo es die realen Produktionsbedingungen nicht mehr länger zulassen, daß das Erfahrungswissen des Facharbeiters vernachlässigt wird, jedoch sein Gespür für den Zerspanungsprozeß nicht mehr gefordert, die Technologieerfahrung unter den NC-Code und der Bildschirmoberfläche verschwindet und Arbeitshandeln

realitätsfern auf Vorabplanung, NC-Codierung und reine Überwachungstätigkeit reduziert werden soll.

Die CNC-Steuerung und die daraus abgeleitete NC-Steuerungsphilosophie dominiert bisher das Maschinen-, Einsatz- und Benutzungskonzept und wird damit zu einer Barriere für erfahrungsgeleitete Arbeit (Bolte, Carus, Schulze und Striepe 1993).

Die für eine qualitätsgerechte Bearbeitung von Einzelteilen notwendige Orientierung des Maschinenführers auf den Zerspanungsprozeß wird durch NC-spezifische Teiltätigkeiten und Beschreibungsobjekte wie sequentiell zu durchlaufende NC-Teiltätigkeiten (z.B. Einrichten, Einfahren, Programmieren, Überwachen) und NC-codierte Programmschritte behindert.

Als Folge dieser Behinderungen für qualifizierte Maschinentätigkeit kommt es zunehmend zu einer "Rückbesinnung" auf die Kompetenzen und die Technologieerfahrung des Facharbeiters, was aus erfahrungsgeleiteter Sicht für einen neuen Typus von Prozeßregulation spricht und konzeptionell zu füllen ist.

Aus dieser Sicht einer bearbeitungsorientierten Prozeßführung geht es daher um eine Form der Prozeßregulation, die - unter dem leitenden Aspekt einer eingriffsorientierten Arbeitsweise - direkte Prozeßbeeinflussbarkeit systematisch mit Prozeßäußerungen, die nicht mehr direkt sinnlich erfahrbar sind, rückkoppelt und verknüpft.

### **(1) Bearbeitungsorientierte Prozeßführung im Rahmen alternativer Maschinengrundkonzepte**

Die einseitig auf das Leitbild von automatisierten Bearbeitungsprozessen in ausschließlich informationstechnisch vernetzten "NC-Ketten" ausgerichteten CNC-Systemkonzepte prägen zwar weiter die Entwicklung im Werkzeugmaschinen Sektor, führen aber durch ihr Konzept von NC-spezialisierter und komplexer Hard- und Software verbunden mit extremen Anforderungen an die Betriebssicherheit der Steuerung und die Prozeßsicherheit des Maschinensystems zu grundlegenden Einsatzproblemen und Defiziten, was bei einigen Anwendern schon die Frage der "Beherrschbarkeit" dieser Steuerungstechnologie aufwirft (Meister 1992).

Die grundlegenden Defizite bei den noch dominierenden CNC-Maschinenkonzepten liegen vor allem in einer weitgehenden Beschränkung der Transparenz des Bearbeitungsprozesses an gekapselten Maschinensystemen, die darüber hinaus keine manuellen Steuerungseingriffe zur Führung des Bearbeitungsprozesses bieten. Eine der entscheidenden Barrieren dabei ist es, daß es keine systematische Verknüpfung von Prozeßführungscomponenten und darauf bezogener NC-Funktionalität gibt.

Diese Anwenderprobleme führen zunächst einmal dazu, daß sich - anknüpfend an die "Rückbesinnung" auf den Facharbeiter und dessen erfahrungsorientierter Arbeitsweise an konventionellen Maschinensystemen - neue Maschinensystemkonzepte im Rahmen von zur bisherigen CNC-Technologie alternativen Entwicklungspfaden herausbilden. Die Bandbreite dieser alternativen Maschinenkonzepte reicht von konventionellen, gesteuert-konventionellen Werkzeugmaschinen über Konzepte,

bei denen reales Fertigungshandeln reproduzierbare Abläufe z.T. mit optionaler WOP-Unterstützung erzeugt, bis hin zu den traditionellen, weitgehend an der Vorabprogrammierung orientierten CNC-Konzepten (DIN-/WOP-Programmierung).

Begleitet wird dieser Prozeß der Herausbildung unterschiedlicher Maschinenkonzepte mit einem zunehmenden Angebot von Umrüst- bzw. Aufrüstkomponenten, z.B. auf dem Sektor der Aufrüstung von konventionellen Werkzeugmaschinen mit angepaßten Einfachsteuerungen, gleichermaßen als Diffusionsprozeß zwischen den verschiedenen Entwicklungspfaden interpretierbar. Damit gerät zunehmend eine zentrale Anwenderforderung ins Blickfeld, nämlich die der Gestaltbarkeit und der auf den Einsatzfall bezogenen Konfigurierbarkeit des Maschinensystems unter dem Motto "Jedem Nutzer seine Maschine".

Mit der Herausbildung dieser unterschiedlichen Maschinenkonzepte, die auf längere Sicht im Rahmen fertigungstechnischer Mischstrukturen nebeneinander bestehen werden, kommt es auch zu einer dazu adäquaten Entwicklung eines Spektrums von Steuerungstypen, die in unterschiedlicher Weise auf die Unterstützung der Prozeßführung an Werkzeugmaschinen gerichtet sind.

Damit folgt die Entwicklung der Steuerungstechnik den oben dargestellten Entwicklungspfaden im Werkzeugmaschinenbau, die auf ein differenziertes Spektrum unterschiedlicher Maschinensystemkonzepte aufgrund ebenso differenzierter Produktionsbedingungen und -konzepte hinauslaufen. So löst sich in ersten Schritten die Entwicklung von CNC-Steuerungen von dem bisher dominierenden Entwicklungspfad, der von einer vom konkreten Maschinentyp und vom Anwendungsfall losgelösten Konzeption und Gestaltung geprägt war.

Im Mittelpunkt dieser neuen Steuerungskonzepte steht die auf den Einsatzfall der Einzel- und Kleinserienfertigung bezogene Integration einer an der konventionellen Bearbeitungsphilosophie orientierten Handsteuerungsfunktionalität und eine darauf gerichtete Gestaltung der Gesamtbenutzungsoberfläche - allerdings in einer auf unterschiedliche Maschinensystemtypen bezogenen Weise.

- Dort, wo an Universalwerkzeugmaschinen das konventionelle Maschinenkonzept weitgehend beibehalten werden soll - im Sinne von Ersatzinvestition von klassischen konventionellen Maschinen - setzen diesbezügliche Steuerungskonzepte an den Stärken erfahrungsgeleiteter Facharbeit an konventionellen Werkzeugmaschinen an, behalten konsequent bewährte konventionelle Benutzungsoberflächen wie Handräder und Kreuzschalter bei und sichern eine möglichst weitgehende Zugänglichkeit, Prozeßnähe und "Offenheit" (z.B. durch Vermeidung von Totalkapselungen). Die auf eine konventionelle Arbeitsweise bezogene Steuerungsunterstützung begrenzt sich auf programmierbare Zyklen und andere Routinen. Das Betriebsartenkonzept orientiert sich auf eine freie Wahl der Arbeitsweise und gewährleistet einen unkomplizierten Wechsel zwischen manueller Handradführung und steuerungsgestützter Dateneingabe und Zyklenprogrammierung. Eine Ex-Post-Programmgenerierung durch Verknüpfung der einzelnen

Bearbeitungsschritte ist allenfalls als Erweiterungsoption vorgesehen, steht aber nicht im Mittelpunkt des Gestaltungskonzeptes und wird ohnehin begrenzt durch sicherheitstechnische Vorschriften, die einen kompletten, automatisierten Programmablauf an ungekapselten Maschinensystemen weitgehend ausschließen.

- Ein weiterer Typus zur Unterstützung einer manuellen und eingriffsorientierten Prozeßführung an Werkzeugmaschinen mit hochleistungsfähiger CNC-Bearbeitungssoftware stellt sich als doppelfunktionales CNC-Konzept dar, in das Handsteuerungsfunktionalität systematisch einbezogen und gestaltet wird. Im Mittelpunkt steht dabei eine auf den Maschinenführer ausgerichtete "Betriebsarten"- bzw. Nutzungskonzeption, die sich von den klassischen NC-Betriebsarten löst und statt dessen handlungsorientiert eine schrittweise Bearbeitung ermöglicht, deren Ergebnis erst ein reproduzierbarer Ablauf ist. Damit soll insbesondere während des Bearbeitungsprozesses ein wahlweiser und nicht sequentieller Zugriff sowohl auf eine elektronische Handradsteuerung für einfache Teiloperationen als auch auf mächtige CNC-Module zur WOP-orientierten Programmierung komplexer Geometrien ermöglicht werden.

Diese auf eine bearbeitungsorientierte Prozeßführung ausgerichteten Steuerungskonzepte im Rahmen alternativer Maschinengrundkonzepte bleiben aber in mehrfacher Hinsicht in ihrem Ansatz begrenzt, insbesondere bzgl. des Charakters der technischen Systemkonzepte und einer Orientierung am Leitbild einer erfahrungsorientierten Gestaltungskonzeption.

Zunächst einmal handelt es sich bei diesen Steuerungskonzepten zumeist um spezialisierte technische Einzellösungen, die insbesondere auf spezifische Einsatzfälle zugeschnitten und damit auch technologischer Träger von dazu adäquaten organisatorischen Konzepten sind. Sie werden daher auch technisch entweder als modifizierte Voll-CNC- oder hard- und softwarebezogene Einzellösungen realisiert.

Selbst dort, wo das Gestaltungskonzept konsequent handlungs- und eingriffsorientiert bleibt, kann von einem funktionsorientiert konfigurierbarem Systemkonzept zur bearbeitungsorientierten Prozeßführung noch nicht ausgegangen werden. Denn gerade für die beschriebenen Ansätze zur Integration einer Handsteuerung in weitgehend geschlossene CNC-Systeme bleibt kritisch anzumerken:

Die Sichtweise auf manuelle Prozeßführung bleibt ausschließlich auf die Unterstützung der EingabeprozEDUREN beschränkt und diese wiederum beziehen sich auf bedeutungsscharfe Zahlen, Daten und Darstellungen. Selbst bei der Integration von Handrädern bleibt die direkte Rückkopplung aus dem Prozeß, z.B. taktiler Art bzw. über Geräuschemuster und -verläufe bisher ausgeblendet (Ligner 1993). Rückkopplung reduziert sich weitgehend auf die graphische Simulation der Bearbeitungsschritte auf dem Bildschirm.

Die Erfahrungswelt des konventionellen Bearbeitens umfaßt darüber hinaus aber auch die qualitativ-sinnliche Beurteilung des Zerspanungsprozesses und seines Ergebnisses, die Rückmeldungen aus einem eingriffsorientierten Arbeitshandeln und deren Verknüpfung mit Prozeßfüh-



rungskomponenten, die dem Werker die Erfahrung des ganzen Prozesses wieder "in die Hand" legen. Beispiele dazu wären die im Kapitel 3.3 vorgestellten Funktionsbausteine zur Unterstützung der Prozeßregulation wie das taktil-rückgekoppelte Handrad bzw. Override sowie das dezentrale Prozeßführungsmodul mit Rückkopplungskomponenten.

Um diesen Typus von erfahrungsorientierter Prozeßregulation technisch zu unterstützen, bedarf es - neben den erwähnten Eingabekomponenten - sowohl einer im Gegensatz zur NC-Programmierlogik neuen Beschreibungsform des Arbeitshandels und eines steuerungstechnischen Systemkonzeptes, das sich strukturell und gestalterisch von den dominierenden CNC-Konzepten grundlegend unterscheidet.

## **(2) Beschreibungsobjekte von erfahrungsorientierter Prozeßführung an Werkzeugmaschinen**

Zentraler Bezugspunkt für eine erfahrungsorientierte Prozeßführung, in deren Mittelpunkt die qualitätsgerechte Bearbeitung eines Werkstückes steht, ist die Aufgabenangemessenheit des Werkzeugmaschinen-systems zur Bewältigung dieser Gesamtaufgabe und der darauf bezogenen Handlungsschritte im Kontext einer Form von Prozeßregulation, die eingriffsorientierte Arbeitsweisen mit sinnlicher Prozeßrückkopplung verknüpft.

Auf diesem Hintergrund sind alle am NC-Code bzw. an Programmierverfahren orientierten Steuerungskonzepte zugleich Träger von arbeitsorganisatorischen Konzepten und Rationalisierungsleitbildern, die als arbeitsteilig-, kontroll- und sachtechnisch-automationsorientiert zu kennzeichnen sind. Denn für die beiden Hauptvarianten - einer eng am NC-Programmierverfahren nach DIN 66025 mit zentralistisch ausgerichteter Programmerstellungskonzeption und einer nicht so stark daran angelehnten werkstattnahen Programmierung (WOP) - gilt zugleich: Sie führen dazu, das erfahrungsgeleitete Arbeitshandeln von Facharbeitern eindimensional in ein Planungs- und Codierungs-/ Programmierungskonzept zu pressen, das von einer arbeitsteiligen Trennung zwischen Planen und Ausführen ausgeht. Das gilt auch für den sich daran anschließenden Weg einer "Rückbesinnung" auf die Technologieerfahrung des Facharbeiters, wie er sich gegenwärtig in der erweiterten Sicht auf eine "werkstattorientierte Produktionsunterstützung" (erweiterte WOP-Definition) ausdrückt. Zwar steht die Kompetenz des Werkers an der Maschine stärker als bisher im Vordergrund, doch bezieht sich deren Unterstützung weitgehend auf das theoretisch-planende Element von Arbeitshandeln, auf das Nutzbar-machen von harten, quantifizierbaren Daten beim Programmieren, Rüsten, bei der Prozeßüberwachung, der Qualitätssicherung und anderen Maschinenumfeldaufgaben. Trotz dieser Breite von Produktionsunterstützung im Sinne eines ganzheitlichen Aufgabenzusammenhanges wird weiter ein Leitbild des Maschinenführers mitgetragen, das ihn als notwendiges, (noch) nicht verzichtbares informationelles Zwischenglied in der NC-Kette sieht, jedoch nicht als eigenständig sinnlich-agierenden Erfahrungsträger mit einem breiten und nicht immer quantifizierbaren Erfahrungsschatz, mit sinnlicher Wahrnehmung, mit dem "Gespür" für den Zerspanungsprozeß (Ligner 1993).

Eine an der Erfahrungswelt des Facharbeiters und der Gesamtaufgabe orientierte Beschreibungssystematik zur Prozeßführung an Werkzeugmaschinen muß sich daher von der eingeschränkten Sicht auf NC-Funktionalität und der darauf ausgerichteten Benutzungskonzeption lösen, die durch sequentiell zu durchlaufende Teilaufgaben, NC-Codes und Makros zur WOP-Programmierung gekennzeichnet ist und den Arbeitsablauf und die Prozeßsteuerung weitgehend auf eine "Bediener"führung durch NC-logische Beschreibungsobjekte und -strukturen reduziert.

Als grundlegende Anforderungen an erfahrungsorientierte Beschreibungsobjekte und -strukturen zur Prozeßführung von Werkzeugmaschinen lassen sich benennen:

- Beschreibung der Gesamtaufgabe durch Teilaufgaben, die sich unabhängig von der jeweiligen steuerungstechnischen Konfiguration als Handlungsschritte im Rahmen eines nicht-sequentiellen, iterativen Vorgehens realisieren und unterschiedliche Optionen für Bearbeitungsstrategien und Arbeitsweisen ermöglichen (Beschreibung des Bearbeitungsmodells nicht durch starre NC-Handlungsketten, sondern durch frei kombinierbare Folgen von ausschließlich bearbeitungstechnologisch bestimmten Teilschritten);
- Aufbau der Beschreibungssystematik (Struktur der Gesamtbenutzungsoberfläche) zur Prozeßführung durch diese bearbeitungsorientierten Module (Abkehr von NC-bedingten Betriebsartenkonzepten und Implementierung von bearbeitungsorientierten Benutzungsarten bzw. -optionen);
- Systematische Integration von planenden, vorbereitenden, ausführenden und kontrollierenden Momenten des Arbeitshandelns in die einzelnen Bearbeitungsschritte;
- Systematische Zusammenführung von Prozeßregulation und Prozeßwahrnehmung durch Integration von optionalen Informationsquellen in die Beschreibungsstruktur (Integration der Rückkopplungsaspekte und -module in die Gesamtbenutzungsoberfläche);
- Strukturelle Gliederung der Gesamtbenutzungsoberfläche in (ggf. auch dezentrale) Teilbenutzungsoberflächen an Werkzeugmaschinen nach Prozeßsteuerungstypen mit besonderen Akzenten auf Prozeßnähe von Steuerungsfunktionalität, dezentraler Prozeßrückkopplung sowie Zugriffsmöglichkeiten auf Maschinenumfeldsysteme (aufgabenorientierte, verteilte Steuerungs"intelligenz").

An diesen grundlegenden Anforderungen an Beschreibungsobjekte und -strukturen von Prozeßführung sollten die steuerungstechnischen Systementwürfe ansetzen, um damit den Leitgedanken eines integrierten Modells von bearbeitungsorientierter Prozeßsteuerung und erfahrungsorientierten Arbeitshandeln umzusetzen.

### 4.3.2 Anforderungen an steuerungstechnische Systemkonzepte zur Prozeßführung

Die bisherige Beschränkung der CNC-Systemkonzepte auf vorbestimmte NC-Funktionalität mit darauf ausgerichteter NC-Architektur begrenzt eine praxisnahe, bearbeitungsorientierte Beeinflußbarkeit von Steuerungsfunktionalität entscheidend und ist allenfalls durch aufwendige Spezialentwicklungen erweiterbar. "Die meisten Steuerungen sind heute geschlossene Systeme. Auf speziell entwickelter Hardware läuft speziell entwickelte Systemsoftware. Es finden keinerlei Standards Verwendung. Jede gewünschte Funktion muß von Grund auf neu entwickelt werden, auch wenn sie in anderen Bereichen der EDV längst Standard ist" (Kastenhuber 1992, S. 4).

Konsequenz dieses gravierenden Strukturdefizites ist die Suche nach universellen Strukturen und Gestaltungsmöglichkeiten, in denen die Kernfunktionalität des NC-Systems aufgehoben werden kann und mit denen NC-Funktionen einfach angesprochen, modifiziert und genutzt werden können ohne die komplizierten Umwege von Codierung und Programmmodifikation. Es beginnen sich integrative Systembetrachtungen durchzusetzen, die die CNC als Prozeßrechnersystem ansehen und systematisch ausbauen wollen, das auf all seinen Ebenen zugänglich und gestaltbar wird und als universelle Prozeßsteuerung des gesamten Maschinensystems nutzbar sein soll.

Ein erster Schritt in diese Richtung ist die Nutzung des Gestaltungspotentials von werkstattauglichen PC-Rechnern, die meist zur Masken- und Dialoggestaltung genutzt und auf die CNC-Systeme aufgesetzt werden.

Dennoch eine entscheidende Barriere bleibt, die Funktionalität der CNC-Steuerung ist damit nicht ohne weiteres erweiterbar, sie ist damit nicht offener und zugänglicher für Technologiemodifikationen des Werkzeugmaschinenherstellers und des Benutzers, die freie Kommunikation zwischen C- und NC-Funktionen ist damit nicht gewährleistet und eine per Visualisierungssystem gestylte Benutzungsoberfläche bedeutet noch lange keinen Zugriff auf geschlossene NC-Kernfunktionen. Für den Werker bleibt bei der Bearbeitung das wie komfortabel auch immer erstellte Programm als Bezugsgröße und Kommunikationsbasis übrig, wobei er sich nötigenfalls noch an den einzelnen DIN-Sätzen orientieren muß.

Die Beschreibungsstruktur und deren Objekte bleiben somit weiter NC behaftet. Hauptanforderung an neue Steuerungskonzepte bleibt daher als "kompromißlose Anpassung der Steuerungsfunktionalität an den zu steuernden Prozeß" (Pritschow und Daniel 1993, S. 11) - und, das bleibt hinzuzufügen, an die Erfahrungswelt und das darauf bezogene Handeln des Maschinenführers - eine neue funktionsorientierte Steuerungsstruktur, auf deren Basis nutzer- und herstellerspezifische Funktionseinheiten zusammengestellt und zu einsatzgerechten Steuerungssystemen konfiguriert werden können (Pritschow 1992).

### **(1) Steuerungstechnische Strukturkonzepte aus erfahrungsgeleiteter Sicht**

Auch aus der Sicht eines erfahrungsorientierten Ansatzes geht es um ein funktionsorientiert strukturiertes, modulares Systemkonzept für eine Prozeßsteuerung an Werkzeugmaschinen, die von ihren Grundfunktionalitäten die universelle PC-Standardrechner-Hardware und -Software, die NC-spezifische Hard- und Software, die NC-Kernsoftware (zur Bewegungs- und Maschinensteuerung) sowie Software-Tools zur freien Gestaltung der Benutzungsoberfläche als CNC-Plattform umfaßt und mit den daraufgesetzten technologie- und maschinenspezifischen CNC-Applikationen und der frei gestalteten Benutzungsoberfläche zu einer spezifischen Steuerungsanwendung verknüpft werden kann (Politsch 1992).

Im übrigen bedeutet ein offenes, funktionsorientiertes Strukturkonzept auch einen gestalterisch freien Zugriff von der Benutzungsoberfläche auf die NC-Kernfunktionen, so daß die bisherigen Beschränkungen bei der wahlweisen Verknüpfung unterschiedlicher Bearbeitungsstrategien (schrittweises Bearbeiten ohne Programmierung und komfortable Programmunterstützung unterschiedlichster Art) überwunden werden können und der Facharbeiter ein universell nutzbares Werkzeug als Steuerung in die Hand bekommt, mit dem wieder das Produzieren und nicht das Vorwegplanen und Codieren im Mittelpunkt des Arbeitshandelns steht.

Damit wird aber eine Art von Modularität eingefordert, wie sie bisher nur selten anzutreffen ist. So weist ein Großteil von Steuerungen zwar eine ansatzweise modulare Struktur auf, bezieht sich aber zumeist auf herstellerspezifische Steuerungsfamilien und repräsentiert nur Ausbaustufen einer Steuerung, von einer unabhängigen Modularität zwischen Hard- und Software und damit einer freien funktionsorientierten Konfigurationsmöglichkeit kann keine Rede sein (Pritschow und Lauerer 1993).

Statt dessen ist eine Steuerungsarchitektur gefragt, die "modular strukturiert und einheitlich für alle fertigungstechnischen Anwendungen einsetzbar die Verteilung der Funktionalitäten zentral wie dezentral je nach den maschinenbaulichen Anforderungen ermöglichen" soll (Pritschow und Lauerer 1993, 1993, S. 8).

Laufende Initiativen zur Entwicklung eines herstellerübergreifenden modularen Systemkonzeptes - wie im Projekt OSAKA (siehe Kapitel 6) vorgesehen - könnten eine wichtige steuerungstechnologische Grundlage zur Umsetzung der von uns aufgestellten funktionalen und strukturellen Anforderungen an Steuerungskonzepte bilden. Bezogen auf den schon mehrfach angeführten Differenzierungsprozeß von Maschinensystemtypen sollte es sich um ein für diesen Entwicklungsprozeß offenes, funktionsorientiert strukturiertes und modulares Systemkonzept handeln, mit dem Systemkombinationen im Sinne angepaßter steuerungstechnischer Stufenlösungen für unterschiedliche Maschinenkonzepte realisierbar sind.

## **(2) Steuerungstechnische Grundvarianten (Prozeßsteuerungstypen)**

Zwar bildet sich - wie oben ausgeführt - ein breiteres Spektrum an CNC-Steuerungstypen heraus und steuerungstechnische Grundvarianten, insbesondere für den Bereich der Einzel- und Kleinserienfertigung, beziehen sich in ihrem Systemkonzept vermehrt auf den Maschinentyp, den Anwendungsfall und die Benutzer. Dennoch bleiben auch diese Ansätze spezialisierte technische Einzellösungen. CNC-Steuerungen sind in der Regel Spezialsteuerungen, die nur dort einsetzbar sind, wo sie der NC-Entwickler hingedacht hat (Richter 1993). Die darauf bezogene Steuerungstypologie bleibt technologiebezogen (Fräsen, Drehen, Schleifen usw.) und gliedert Steuerungsvarianten nach mehr oder weniger komplexen Maschinensystemen (einachsrig, mehrachsrig usw.).

Veränderte Produktionsbedingungen setzen dagegen aber neue Flexibilitätserfordernisse nicht nur an eine vertikale Durchgängigkeit von Steuerungsvarianten bezüglich ihrer Funktionalität und Integrationsfähigkeit, sondern auch an horizontale Integration von technologiebezogenen Steuerungstypen, insbesondere wenn es sich um fertigungstechnische Mischstrukturen mit unterschiedlich komplexen Werkzeugmaschinen und unterschiedlichen Bearbeitungstechnologien handelt (Pritschow und Daniel 1993).

Unter diesem Gesichtspunkt muß bei einer auf die reale Einsatzsituation und die Anwenderprobleme ausgerichtete Steuerungstypologie über die CNC hinaus gedacht werden, denn neue Steuerungsfamilien und -varianten sollten sich als Automatisierungssteuerungen für beliebige programmgesteuerte Maschinen mit Servoachsen verstehen, die sich mit problemorientierter Software auf den jeweiligen Einsatzfall konfigurieren lassen und untereinander kompatibel sind (Richter 1993).

Grundlage für eine Steuerungstypologie aus erfahrungsgeleiteter Sicht ist eine Typologie von Prozeßsteuerung, die sich nicht aus NC-Funktionalität, sondern problemorientiert aus der bearbeitungsorientierten Prozeßführung durch den qualifizierten Maschinenführer ableitet.

Dabei kann an dem oben beschriebenen Differenzierungs- und Diffusionsprozeß bei der Entwicklung von Maschinen- und Steuerungskonzepten angeknüpft werden.

### **• Handsteuerungsorientierte Konzepte**

Diese setzen auf eine konsequente Bewahrung konventioneller, manueller Prozeßführungskomponenten wie Handräder sowie Kreuzschalter und verknüpfen diese im Rahmen ihres Systemkonzeptes sowie über die Gesamtbenutzungsoberfläche mit einer im wesentlichen auf programmierbare Zyklen begrenzten Steuerungsunterstützung. Die implementierten Benutzungsarten sind auf einen direkten Zugriff (über Menüschalter mit flachen Menüstrukturen) auf technologieorientierte Arbeitsschritte gerichtet und ermöglichen eine freie Wahl und den Wechsel zwischen manueller Handradführung und steuerungsgestützter Dateneingabe.

- **Doppelfunktionelle Steuerung mit integrierter Handsteuerungsfunktionalität**

Im Mittelpunkt dieses Konzeptes steht die Verknüpfung von Handsteuerungsfunktionalität mit WOP-orientierten Programmierschritten über entsprechende Nutzungsarten, die auf schrittweise Bearbeitung und wahlweisen Zugriff auf Handradsteuerung und WOP-Module für komplexe Geometrien gerichtet sind. Dabei ist die programmtechnische Unterstützung technologieorientiert und arbeitsvorgang- bzw. arbeits-schrittbezogen. Der reproduzierbare Programmablauf entsteht erst als Ergebnis einer gemischt manuell-programmgesteuerten Prozeßführung.

- **Doppelfunktionale Steuerung mit separater Handsteuerungsfunktionalität**

Im Unterschied zur vorherigen Variante ist das Steuerungskonzept auf zwei unterschiedliche Nutzungsarten - dem Hand- und dem Programmbetrieb ausgerichtet. Die Nutzungsarten sind nicht integriert und als Teilbenutzungsoberflächen isoliert voneinander als Hardware- und/oder Softwareoptionen realisiert.

Mit diesen Grundbetriebsarten, bei denen ein arbeitsbezogener Wechsel nicht möglich ist, wohl aber die Übernahme von im Handbetrieb "geteachten" Abläufen in den Programmbetrieb, sollen sowohl manuelle Einzelteil- und "geteachte" Kleinserienfertigung als auch eine Serienfertigung unter Nutzung der vollen CNC-Funktionalität in der NC-Kette gesichert werden.

- **Bearbeitungsorientierte Prozeßführung an WOP-Systemen**

Im Unterschied zu den klassischen, ausschließlich auf Vorabprogrammierung orientierten WOP-Konzepten können hierzu diejenigen Steuerungskonzepte zugeordnet werden, die die Planung der einzelnen Bearbeitungsvorgänge unterstützen und nicht auf vorab zu erstellende Gesamtprogramme, sondern auf schrittweise zu erstellende und ggf. abzuarbeitende Arbeitsvorgänge gerichtet sind. Entscheidend aus erfahrungsgeleiteter Sicht bleibt bei diesem Typus, inwieweit es gelingt, die Integration von Planung, Ausführung und Kontrolle in die einzelnen Arbeitsschritte zu vollziehen und dabei das Erfahrungswissen des Werkers im Prozeß einzubeziehen. Darüber hinaus sollte ein nicht sequentielles, iteratives Vorgehen bei der arbeitsvorgangorientierten Programmierung und Bearbeitung gesichert sein.

Wenn diese Typologie von steuerungstechnischen Grundvarianten mit dem Leitgedanken eines abgestuften Modells von aufeinander bezogenen und vom Nutzungskonzept kompatiblen Steuerungstypen verknüpft wird, es also um hersteller- und technologieübergreifende Steuerungskonzepte geht, stellt sich die Frage nach den Konstruktionsprinzipien einer darauf ausgerichteten Werkzeugmaschinensteuerung.



### **(3) Konstruktionsprinzipien einer "offenen" Werkzeugmaschinensteuerung aus erfahrungsgeleiteter Sicht**

Folgt man den oben dargestellten Entwicklungspfaden im Werkzeugmaschinenbau, die auf ein differenziertes Spektrum unterschiedlicher Maschinensystemkonzepte hinauslaufen - in deren Mittelpunkt zunehmend wieder der erfahrene Maschinenführer steht - so bleibt als strategische Frage für die Entwicklung von Steuerungssystemen an Werkzeugmaschinen, auf welche Weise es gelingt, dieser sich abzeichnenden Differenziertheit durch eine darauf bezogene "Offenheit" der Steuerungstechnik zu begegnen.

"Offenheit" in diesem Sinne bedeutet zunächst einmal, sich von dem klassischen CNC-Pfad zu verabschieden, der die einseitig spezialisierte NC-Linie fortsetzt, und statt dessen den Gesamtprozeß und die darauf ausgerichtete und jeweils problemorientiert-konfigurierbare Werkzeugmaschinensteuerung in den Mittelpunkt von technischer Entwicklung zu stellen.

An dieser Stelle sollen aus der Sicht des CeA-Forschungsverbundes die technisch-funktionalen und strukturellen Anforderungen und daraus abgeleitete Konstruktionsprinzipien für eine offene Werkzeugmaschinensteuerung angesprochen werden (Siehe Bild 4.4).

Über den Anspruch einer "Offenheit" im engeren Sinne hinaus - damit sind offengelegte, ohne Adaption zugängliche Schnittstellen der Subsysteme gemeint - geht es vor allem um ein offenes, funktionsorientiertes und modulares Systemkonzept, das Systemkombinationen im Sinne angepaßter steuerungstechnischer Stufenlösungen für unterschiedliche Maschinenkonzepte ermöglicht.

Von seiner Gestaltbarkeit stellt es nicht nur auf die Adaptierbarkeit an unterschiedliche Einsatzbedingungen ab, sondern zielt auf eine gemeinsame Benutzungsphilosophie und -konzeption, die an die Stärken der am Zerspanungsprozeß orientierten schrittweisen Bearbeitung an konventionellen Werkzeugmaschinen anknüpft und durch aufeinander aufbauende Benutzungsarten und arbeitsmethodisch darauf bezogene "einheitliche" Gesamtbenutzungsoberflächen zur Prozeßführung auch im Rahmen technologie- und herstellerübergreifender Steuerungssysteme realisiert werden.

Befreit man sich von der zentralistischen und hochspezialisierten Strukturkonzeption der klassischen CNC-Technik (siehe Kapitel 4.3.1) und setzt auf eine verteilte Steuerungs"intelligenz", die dem Werker vor Ort, optional und frei positionierbar in die "Hand" gegeben werden kann, dann ergeben sich weitere Anforderungen an Offenheit von CNC-Systemen, die auf eine Prozeßführung vor Ort, d.h. in unmittelbarer Nähe am und mit möglichst direkter Rückkopplung aus dem Bearbeitungsprozeß, gerichtet sind (siehe Kapitel 3.3.1):

- verteilte Steuerungsfunktionalität am Maschinensystem, d.h. "freie" Kombination von erweiterten elektronischen Handsteuerungsfunktionen mit weiteren Funktionen an Maschinenkomponenten und der Funktionalität ggf. paralleler Steuerungssysteme;

- offene Struktur mit "freier" Kommunikation der Subsysteme und Komponenten;
- drahtlose Kommunikation und freie Plazierbarkeit von Prozeßsteuerungsmodulen;
- "freie" externe Kommunikation mit Maschinenumfeldsystemen, die den Zugriff des Maschinenführers auf maschinennahe Informationssysteme ermöglichen.

<b>Konstruktionsprinzipien einer "offenen" Werkzeugmaschinensteuerung aus erfahrungsgeleiteter Sicht</b>	
<b>Offenheit i.e. Sinne</b>	offengelegte, ohne Adaption zugängliche Schnittstellen der Subsysteme
<b>Systemfähigkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bzgl. Maschinensystemkonzepte</li> <li>• bzgl. Peripheriemodule/-systeme</li> </ul>
<b>Konfigurierbarkeit</b>	von funktionsorientierten Modulen zur problemangepaßten Gesamtsteuerung
<b>Gestaltbarkeit /Adaptierbarkeit an Einsatzbedingungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der NC-Funktionalität/Technologie</li> <li>• technologie-/herstellerübergreifende Benutzungskonzepte</li> <li>• der Bildschirmoberfläche</li> <li>• der Gesamtbenutzungsoberfläche</li> </ul>
<b>Optionalität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• als Gestaltungsprinzip für Gesamtbenutzungsoberflächen</li> <li>• für unterschiedliche Arbeitsweisen (Handlungsmuster)</li> <li>• für unterschiedliche Wahrnehmungsmuster (z.B. visuell/akustisch)</li> </ul>
<b>Prozeßführungsfähigkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für unterschiedliche Prozeßsteuerungstypen</li> <li>• optionale Betriebsarten, Programmierverfahren</li> <li>• manuelle Prozeßregulation</li> </ul>
<b>Prozeßnahe Steuerungsfunktionalität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elektronische Handsteuerung</li> <li>• dezentrale Informationsein- und -ausgabe</li> <li>• dezentrale Programmerzeugung und -korrektur</li> <li>• dezentrale Prozeßrückkopplung</li> <li>• dezentrales Strukturkonzept</li> </ul>
<b>Objektorientierung/Multimediafähigkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bearbeitungsorientierte Beschreibungsobjekte</li> <li>• Objektorientierung der Gesamtarchitektur</li> <li>• freie Zuordnung und Ansprache von Grafiken, Bildern, Videos, Tonfolgen und Daten</li> <li>• abgestimmtes, wahlweises Zusammenspiel von Grafik, Text, Bild und Ton ohne Handhabungs- und Medienbrüche</li> </ul>
<b>Groupwarefähigkeit</b>	Adaptierfähigkeit der Steuerungskonzepte in fertigungstechnischen Mischstrukturen

**Bild 4.4:** Konstruktionsprinzip einer "offenen" Werkzeugmaschinensteuerung aus erfahrungsgeleiteter Sicht

Wie schon oben ausgeführt, ist die erfahrungsorientierte Arbeitsweise des Maschinenführers insbesondere unter dem Aspekt der qualitativ-sinnlichen Wahrnehmung und Beurteilung des Zerspanungsprozesses und seines Ergebnisses, der Rückmeldungen aus dem eingriffsorientierten Arbeitshandeln und deren Verknüpfung mit entsprechenden Eingabekomponenten zu unterstützen. Um dem Werker die Erfahrung des ganzen Prozesses nicht nur taktil wieder "in die Hand" zu legen, sondern diese ganzheitlich und multimodal wahrnehmbar zu machen, ist über die systemtechnische Einbindung von taktilen Rückkopplungskomponenten hinaus eine "Offenheit" der CNC-Steuerung bzgl. der Gesamtheit der sinnlichen Wahrnehmungsarten und -muster gefordert. Damit ist die Anforderung nach Multimediafähigkeit der Steuerung gestellt, die als Multimedia-Plattform neben den bisher genutzten konventionellen Darstellungsformen wie Schriftzeichen zur Repräsentation von Texten und Daten sowie graphische Elemente und Simulationsverfahren zusätzlich Festbilder (z.B. technische Zeichnungen unterschiedlichster Art, Photographien), Bewegtbilder (Videosequenzen, Echtzeitübertragungen) und Audio-Informationen (z.B. Erfassung und Verwaltung von Geräuschen, Geräuschsverläufen und von Sprache) ermöglichen soll (Kurbel 1992; Adam, Fredrich und Linnemann 1992).

So können schon aufrufbare Festbilder z.B. als Photographien komplexer Aufspan- und Rüstsituationen für den Maschinenführer sinnvolle zusätzliche Informationen darstellen, die neben bisher gegebenen textuellen und datenbezogenen Detailinformationen einen optischen Orientierungsrahmen bzw. vergleichbare realistische Situationsabbilder bieten.

Einblendbare Bewegtbilder lassen sich entweder als Videosequenzen zur Beurteilung und zum Vergleich komplexer Abläufe (z.B. Aufruf ähnlicher Arbeitsschritte eines bereits durchgeführten vergleichbaren Fertigungsauftrages) oder als vom Werker zu aktivierende Echtzeitaufnahmen, die einen optischen Detail- bzw. Gesamteindruck z.B. gerade ablaufender, kritischer und nicht mehr direkt einsehbarer Bearbeitungsabschnitte ermöglichen (Kurbel 1992).

Auf die Bedeutung von Geräuschmustern und -folgen sowie deren Übertragung und Speicherung zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit wurde schon oben verwiesen. Die Realisierung dieser Art von Audio-Informationen verbunden mit Sprachverarbeitungsfunktionalität zur Maschinensteuerung durch Spracheingabe und -erkennung ist ein weiterer zentraler Aspekt einer multimediafähigen CNC-Systemplattform.

Schließlich sei darauf verwiesen, daß eine dem ganzheitlichen menschlichen Wahrnehmungsverhalten adäquate multimediale Unterstützung nur durch ein auf einander abgestimmtes Zusammenspiel von Text, Bild und Ton realisiert werden kann. D.h. ein auf die Unterstützung des Maschinenführers gerichtetes multimediales System sollte die verschiedenen Darstellungsformen ohne Handhabungs- und Medienbrüche integrieren, jedem Darstellungsobjekt sollen Graphik-, Text-, Daten-, Bild- und Tonobjekte frei zugeordnet werden können (Kurbel 1992).

Womit wir bei einer weiteren und wesentlichen strukturellen Anforderung an ein offenes Steuerungssystem wären: eine objektorientierte Hard- und Softwarearchitektur. Dabei geht es um ein strukturelles Grundkonzept

einer objektorientierten Gesamtarchitektur des Systems, bei der z.B. die unterschiedlichen Darstellungsformen wie Graphiken, Bilder, Videos, Töne und Daten einheitlich als Objekte behandelt und auch in gleicher Weise von der Logik der Benutzungsoberfläche her angesprochen werden können (Kurbel 1992).

Erst damit ist eine wirkliche Optionalität bzgl. des Wechsels in den medialen Darstellungsformen ohne komplizierte Umwege über parallele Systeme und Zusatzkomponenten anbietbar und für den Maschinenführer auch einfach nutzbar.

#### **4.3.3 Multimediale Prozeßführung an Werkzeugmaschinen - erste Befunde und Anforderungen**

Ein auf den Bearbeitungsprozeß orientiertes Konzept von Prozeßführung an Werkzeugmaschinen, das auf die Unterstützung des erfahrungsorientierten Arbeitshandelns gerichtet ist, erfordert eine systematische Kombination von Komponenten zur handlungsorientierten Prozeßregulation (siehe Kapitel 3.3) mit Funktionsbausteinen zur ganzheitlichen und multimodalen Wahrnehmung des Gesamtprozesses.

Während schon im Kapitel 3.4 auf die Bedeutung derart kombinierter Funktionsbausteine hingewiesen und auf erfolgreiche Erprobungen einzelner Komponentenkonfigurationen verwiesen werden konnte, sollen an dieser Stelle erste Befunde und Hauptcharakteristika einer multimedialen Prozeßführung sowie Anforderungen an eine darauf bezogene systematische Einbindung entwickelt werden.

Bezugspunkt für erste Untersuchungsbefunde auf diesem Gebiet ist die Versuchsreihe zur Erprobung von Sprachein- und -ausgabemedien zur verbalen Steuerung von Werkzeugmaschinen (siehe Kapitel 3.4.3).

In dieser Versuchsreihe mit Facharbeitern wurden über die erwähnte Sprachsteuerung hinaus auch weitere bekannte CeA-Funktionsbausteine wie der Joystick mit kinästhetischer Rückkopplung und die akustische Prozeßverfolgung mittels Körperschallwiedergabe über Kopfhörer zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus war eine industrietaugliche Mikrovideokamera so im Bearbeitungsraum installiert, daß sie über einen zusätzlichen Videomonitor eine Grob- und Feinorientierung auf das Werkstück-Werkzeug-System ermöglichte.

Zielpunkt dieser erweiterten Versuchsreihe war es, erste Befunde zur Nutzung unterschiedlicher Wahrnehmungsmedien und optionaler Regulationsformen zu erhalten und daraus erste Anforderungen an die konzeptionelle Einbindung medial-unterschiedlicher Funktionskomponenten abzuleiten.

Unter dem Blickwinkel einer damit in diesem Versuch erprobten neuen multimedialen "Erfahrungswelt" für den Maschinenführer lassen sich zusammenfassend folgende Ergebnisse skizzieren:

Für die im Versuch angebotenen medial-unterschiedlichen Eingriffskomponenten (Sprachsteuerung über Spracheingabe, manuelle Prozeßführung per Joystick) gilt gleichermaßen: Sie wurden von den Testpersonen als optionale Regulationsarten angesehen und sollten daher tech-

nisch so ausgelegt werden, daß sie in kritischen Prozeßabschnitten, in räumlichen Problembereichen (etwa beim unüberschaubaren Zusammenwirken von Systemkomponenten) und beim dezentralen, prozeßnahen Einsatz wahlweise zur Verfügung stehen.

Was für den schon beschriebenen Befund bzgl. eines gezielten "Hinhinhörens" in bestimmte Prozeßabschnitte per Körperschallwiedergabe (siehe Kapitel 3.2.2) gilt, erweist sich gleichermaßen für den Videokameraeinsatz als Ergebnis: In schwer einsehbaren Bereichen des Bearbeitungsprozesses kann sich - selbst unter den optischen Einschränkungen eines Kühl-/ Schmiermittelfilms bzw. -nebels - der Einsatz eines Videosystems zur gezielten Grob- und Feinorientierung, insbesondere von Werkstück-/Werkzeugrelationen, durchaus als sinnvoll erweisen, wenn dabei durch Wahl unterschiedlicher Blickwinkel (Achsrichtungen) auch eine räumliche Orientierung ermöglicht wird.

Die erprobten Anwendungsgrundrichtungen unterschiedlicher Regulations- und Wahrnehmungsarten sind nicht aus dem multimodalen Wahrnehmungs- und Handlungskontext erfahrungsgeleiteter Arbeit an Werkzeugmaschinen zu lösen. Daher ist eine gezielte Nutzung von und der Wechsel zu unterschiedlichen Medienarten nur durch eine systematische Verknüpfung der Optionsarten ohne Handhabungs- und Medienbrüche im Arbeitsablauf vorstellbar.

Solange aber die systemtechnische Einbindung der genannten Optionsarten in eine für den Maschinenführer handhabbare Gesamtbenutzungsoberfläche nicht möglich ist, bleiben Untersuchungsergebnisse bzgl. multimedialer Unterstützung im Arbeitshandeln an Werkzeugmaschinen fragmentarisch. So konnte auch in dieser Untersuchungsreihe nur durch eine aufwendige PC-Speziallösung der Zugriff auf die optionalen Medien soweit gewährleistet werden, daß separierte Teilbenutzungsoberflächen für die einzelnen Funktionsbausteine aufrufbar und isoliert nutzbar waren.

Trotz dieser gravierenden systemtechnischen Barrieren, die auf eine fehlende multimediafähige Systemplattform für eine optional nutzbare Werkzeugmaschinensteuerung hinweisen, können einige erste Anforderungen an ein Konzept multimedialer Prozeßführung skizziert werden:

Innerhalb einer Beschreibungssystematik für erfahrungsorientierte Prozeßführung hat der freie Zugriff auf medial unterschiedliche Beschreibungsobjekte des Prozesses eine zentrale Bedeutung für erfahrungsgeleitetes Arbeitshandeln. Über diesen Weg kann das diesen Arbeitstypus kennzeichnende multimodale Wahrnehmungsverhalten technisch gestützt und damit neu konstituiert werden.

Das gleichermaßen typische Handlungsmuster mit Optionalität für unterschiedliche Arbeitsweisen und dazu adäquaten Regulationsarten sowie Eingriffskomponenten erfordert eine technische Systemlösung, die medial unterschiedliche Regulationsobjekte (z.B. Sprachsteuerung und taktile Prozeßführung) nicht nur transformieren, sondern in ein Gesamtkonzept integrieren kann.

Erfahrungsgeleitete Arbeit an Werkzeugmaschinen mit multimedialer Unterstützung erfordert daher ein integriertes, ganzheitliches Gesamtbenutzungskonzept mit Optionalität als durchgängigem Gestaltungsprinzip

und darauf ausgelegter Gesamtbenutzungs- und Teilbenutzungsoberflächen.

Das Prinzip der Gestaltbarkeit bzw. Adaptierbarkeit des Systemkonzeptes an die jeweiligen Einsatzbedingungen erfordert es, die Multimediafähigkeit der Steuerung als Plattform auszulegen, von der aus die Module zu problemangepaßten Gesamtlösungen konfiguriert werden können (von der einfachen Kombination taktil/akustisch über Joystick und Kopfhörer bis zur anspruchsvollen Einbindung von Videosequenzen über Fenster-technik).

Die Umsetzung multimedialer Prozeßführung an Werkzeugmaschinen erfordert angesichts der einsatzbezogenen Differenzierungsprozesse bei den Maschinengrundtypen und der Einsatzbreite (z.B. Universalwerkzeugmaschinen, Serienmaschinen, Großwerkzeugmaschinen) ein konfigurierbares Systemkonzept, das insbesondere auf unterschiedliche Maschinenkonzepte und Einsatzfälle ausgerichtet sein muß und damit spezifischen Anforderungskonstellationen nach multimedialer Unterstützung gerecht werden kann.

## 4.4 Literatur zu Kapitel 4

- Adam, W.; Fredrich, H.; Linnemann, H.: Modellbasiertes Multimedia-Ferndiagnosesystem. In: ZwF, 87 (1992) 12.
- Bieker, D.: Realisierungsbedingungen einer facharbeitergerechten CNC-CAD-Kopplung. Kassel, Universität Gesamthochschule, Dipl.-Arb. 1994
- Blum, U.: Die Chance liegt in europäischen Techniklösungen. In: Technische Rundschau Wissen 85 (1993) September, S. 77-79.
- Böhle, F.: Einfahren und Optimieren. In: Institut für Arbeitswissenschaft der Gesamthochschule Kassel (Hg.): Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung. Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1992, S. 46-51.
- Böhle, F.; Carus, U.; Schulze, H.: Manuelle Steuerung von CNC-Werkzeugmaschinen. In: VDI-Z 135 (1993) 3, S. 19-20.
- Böhle, F.; Rose, H.: Erfahrungsgeleitete Arbeit bei Werkstattprogrammierung - Perspektiven für Programmierverfahren und Steuerungstechniken. In: Rose, H. (Hg.): Programmieren in der Werkstatt. Frankfurt/M./New York: Campus Verlag 1990, S. 11-95.
- Bolte, A.: Planen durch Erfahrung. Arbeitsplanung und Programmerstellung als erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen. Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1993.
- Bolte, A.; Carus, U.; Schulze, H.; Striepe, S.: Erfahrungsförderlichkeit als Gestaltungsanforderung für Benutzungsoberflächen von CNC-Werkzeugmaschinen.



- In: Rödiger, K.-H. (Hg.): Software-Ergonomie '93. Von der Benutzungsoberfläche zur Arbeitsgestaltung. Stuttgart 1993, S. 215-226.
- Brödnert, P.: Fabrik 2000. Alternative Entwicklungspfade in die Zukunft der Fabrik. (3. Aufl.) Berlin: Edition-Sigma 1986.
- Dunkhorst, Stephan.: Werkzeugbau 2000. (unveröffentl. Projektbericht) Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1987.
- Fleig, J.; Rundel, P.; Schneider, R.: Auftragsdisposition im FacharbeiterInnen Informationssystem CeAFIS. In: Bolte, A.; Martin, H. (Hg.): Flexibilität durch Erfahrung. Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit in der Produktion. Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1993, S. 78-100.
- Hoffmann, Th.; Martin, H.: CNC-Steuerungen im Vergleich. Eigenschaften von CNC-Steuerungen zur Dreh- und Fräsbearbeitung. In: Rose, H. (Hg.): Programmieren in der Werkstatt. Frankfurt/M./New York: Campus Verlag 1990, S. 97-153.
- Holub, R.: Analyse von Teilespektren auf ihre Geeignetheit zur CNC-Bearbeitung. Kassel, Universität Gesamthochschule, Dipl.-Arb. 1987.
- Kastenhuber, W.: Ist Anwenderfreundlichkeit machbar? In: Tagungsband "Offene Steuerung". Landsberg: Verlag Moderne Industrie 1992.
- Kurbel, K.: Multimedia-Unterstützung für die Fertigungssteuerung. In: ZwF, 87 (1992) 12.
- Ligner, P.: Die CNC-Steuerung: Werkzeug oder Barriere für erfahrungsgeleitete Arbeit. In: LTA-Forschung, (Landesmuseum für Technik und Arbeit), Mannheim (1993) 10.
- Ligner, P.; Striepe, S.: Steuerungskonzepte und erfahrungsgeleitete Arbeit. Prozeßsteuerung, Maschinenhandhabung und Programmierung an Werkzeugmaschinen. (Unveröffentlichter Arbeitsbericht des CeA 1 Forschungsverbundes). Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft der Universität - Gesamthochschule 1992.
- Martin, H.; Momberg, B.; Striepe, S.; Vollmer, Th.: CNC-Steuerungen im Vergleich. Hard- und softwareergonomische Gestaltung von CNC-Drehmaschinensteuerungen. Teil 1 in: CIM-Praxis, 10 (1992) 5, S. 62-74. Teil 2 in: CIM-Praxis, 10 (1992) 6, S. 56-60.
- Meister, P.: Anforderungsprofil an eine moderne CNC-Steuerung aus der Sicht des Werkzeugmaschinenherstellers. In: Tagungsband "Offene Steuerung". Landsberg: Verlag Moderne Industrie 1992.
- Politsch, H. W.: MOSAIC - eine leistungsfähige Werkzeugmaschinensteuerung mit offener Architektur. In: Tagungsband "Offene Steuerung". Landsberg: Verlag Moderne Industrie 1992.
- Pritschow, G.: Merkmale eines offenen Steuerungskonzeptes. In: Tagungsband "Offene Steuerung". Landsberg: Verlag Moderne Industrie 1992.
- Pritschow, G.; Daniel, C.: Konzepte für die Konfigurierung modularer Steuerungssysteme. In: Pritschow, G.; Spur, G.; Weck, M. (Hg.): Tendenzen in der NC-Steuerungstechnik. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1993.
- Pritschow, G.; Lauerer, H.: Entwicklungstendenzen in der NC-Steuerungstechnik. In: Pritschow, G.; Spur, G.; Weck, M. (Hg.): Tendenzen in der NC-Steuerungstechnik. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1993.

- Richter, U.: Offene Steuerungen sind nicht nur offen. In: Technische Rundschau Wissen 85 (1993) September, S. 61-63.
- Striepe, S.: Technologiewertbestimmung an CNC-Werkzeugmaschinen: Anforderungen an die technische Unterstützung bei Programmerstellung und Einfahren - Overrideprotokollierung. Kassel, Universität-Gesamthochschule, Fachbereich 15, Diss. 1994.
- Zimolong, B.: Fehler und Zuverlässigkeit. In: Hoyos, C. Graf; Zimolong, B. (Hg.): Ingenieurpsychologie. Göttingen: Hogrefe 1990, S. 313-345.



## **5 Neue arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse durch die Erforschung der Entwicklungspotentiale erfahrungsgeleiteter Arbeit**

Helmuth Rose, ISF München und Hans Martin, GhK-IfA Kassel

Der CeA-Forschungsverbund "Prozeßbeherrschung durch Erfahrungswissen und deren technische Unterstützung" hat aufgrund eines neuen sozialwissenschaftlichen Grundverständnisses und darauf fußender Vorgehensweisen weiterführende Erkenntnisse auch für den Fortschritt der Arbeitswissenschaft erzielt. Sie werden bestätigt und erweitert durch die Ergebnisse anderer Forschungsvorhaben, die sich ebenfalls mit Fragen der Bedeutung praktischer Erfahrung bei der Arbeit mit Werkzeugmaschinen befassen und hierbei auch andere Aspekte der Arbeit aufgegriffen haben. Zu nennen sind hier insbesondere die Forschungsvorhaben "Lernen und Fertigen" sowie die Voruntersuchungen für einen Forschungsverbund "Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung". Neben diesen Forschungsergebnissen sind aber auch die Diskussionsergebnisse verschiedener Workshops im Rahmen dieser Vorhaben oder anderer Veranstalter (z.B. RKW und Projektträger "Arbeit und Technik" des BMFT) berücksichtigt worden, um die neue arbeitswissenschaftliche Sichtweise zu belegen.

Zunächst wird dargestellt, daß die Erforschung komplexer Fragestellungen nur durch Kooperation verschiedener Disziplinen und durch Einbezug von Berufspraktikern aussichtsreich ist. Daran schließt sich eine kurze Zusammenfassung der Forschungs- und Diskussionsergebnisse im Überblick an, um hieraus Entwicklungsperspektiven und Mindestanforderungen an die technische Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit abzuleiten. Ihnen folgt eine systematische Kritik und Erweiterung gegenwärtig meistgenannter arbeitswissenschaftlicher Grundannahmen über das Arbeitshandeln. Den Abschluß der Abhandlung bildet die Erörterung von Konsequenzen für die Arbeitsforschung und Arbeitsgestaltung.

## 5.1 Erfahrungsgeleitete Arbeit als Untersuchungsgegenstand komplexer Forschungsfragen

In den klassischen Ansätzen der Arbeitswissenschaft wurden hauptsächlich Fragestellungen zur Ausführung von Arbeitsaufgaben unter kontrollierten Bedingungen und mit naturwissenschaftlich ausgerichteten Methoden untersucht. Komplexe Fragestellungen werden dieser Tradition folgend zunächst in Einzelfragestellungen gegliedert, dann isoliert bearbeitet, um ggf. abschließend zu einer Zusammenschau aufbereitet zu werden. In neuerer Zeit werden hierzu auch andere Fachdisziplinen hinzugezogen, z.B. die Arbeitspsychologie zur Erforschung von Arbeitszufriedenheit. Es soll hier nicht bezweifelt werden, daß auf diese Weise wichtige gesicherte und für die Praxis verwendbare Ergebnisse zustandegekommen sind, z.B. im Hinblick auf die ergonomische Gestaltung an der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Heeg 1988). Zu fragen ist allerdings, ob mit dieser Sicht- und Vorgehensweise auch sich im Prozeß der Forschung verändernde Untersuchungsgegenstände analysiert werden können. Arbeit in der betrieblichen Praxis, d.h. unter dynamisch veränderlichen Kontextbedingungen (z.B. kritische Arbeitssituationen) läßt sich auf diese Weise nur sehr aufwendig und selektiv erforschen. Im CeA-Forschungsverbund ist deshalb eine andere Herangehensweise gewählt worden, um dem Forschungsgegenstand "Arbeitshandeln in veränderlichen Kontexten" gerecht zu werden.

### 5.1.1 Die Rolle von Interdisziplinarität und Nutzerbeteiligung

Die Arbeitswissenschaft hat eine starke Tradition in der Erforschung von Grenzen der menschlichen Beanspruchung, um daraus abgeleitet Fragen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes für die Sicherheit und Belastbarkeit von Arbeitspersonen zu beantworten. Sie lassen sich als abgrenzbare Teilprobleme definieren, die sich auch quantitativ erfassen und statistisch auswerten lassen und bei denen die Versuchsbedingungen weitgehend kontrolliert werden können. Typisch sind beispielsweise neuere Untersuchungen über die sensomotorische Koordination von Auge, Arm und Hand bei Arbeitstätigkeiten (Zimmer 1990) oder Untersuchungen zur Informationsverarbeitung, mit dem Ziel der Fehlervermeidung (Bubb 1992). Derartige Untersuchungen können vorweg vollständig geplant werden. Mehrere Arbeitspersonen werden als Probanden in Labor- oder Feldversuchen beobachtet und ihre physiologischen Indikatoren meßtechnisch erfaßt. Die Untersuchungsaufgabe wird meist so gewählt, daß sie arbeitswissenschaftlicher Meßmethodik zugänglich ist.

Da der CeA-Forschungsverbund die Untersuchung komplexer Arbeitsaufgaben im veränderlichen Kontext zur Forschungsaufgabe gesetzt hat-

te, mußte er eine andere Vorgehensweise wählen, die dieser Dynamik entsprach. Um die Komplexität der Arbeit analytisch erfassen zu können, kam es darauf an, die Erkenntnisse und Erfahrungen verschiedener Fachdisziplinen zu berücksichtigen. Um dies auch in veränderlichen Kontexten erfolgreich zu bewältigen, bedurfte es des Einbezugs der Arbeitspersonen an der Maschine in die Forschung.

Werden verschiedene Fachdisziplinen und Nutzer in die Forschung einbezogen, können unterschiedliche Sichtweisen und Wertungen integriert und simultan erfaßt werden.

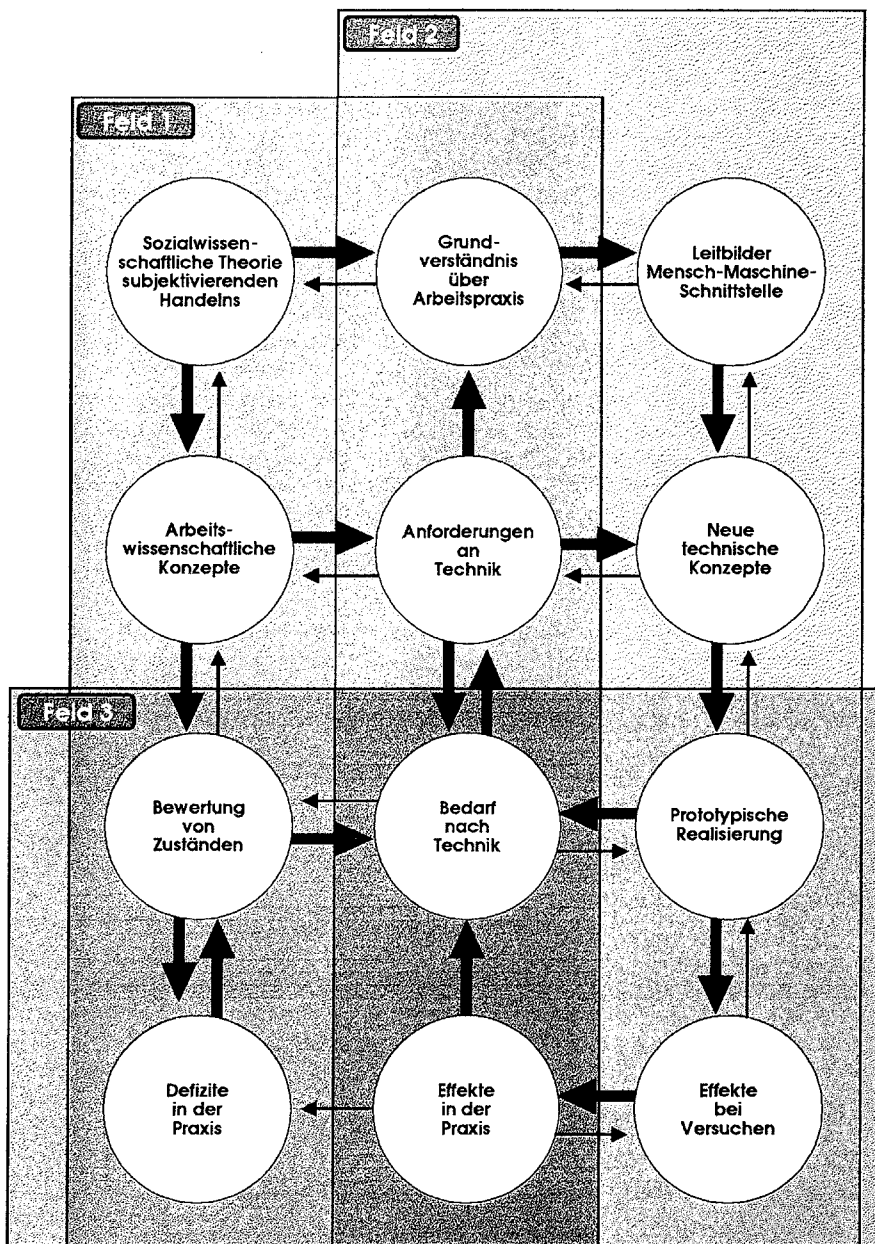
In der Übersicht in Bild 5.1 lassen sich einzelne Spalten und Zeilen der Matrix als eng zusammengehörende Prozeßketten verstehen. Ebenso können übergeordnete Felder für verschiedene Akteure (z.B. einer Disziplin) der Forschung sowie deren Schnittstellen untereinander angegeben werden.

Im Feld 1 befinden sich sozialwissenschaftliche Fragestellungen, im Feld 2 ingenieurwissenschaftliche Fragen. Beide Felder können auch, wie bisher in der Arbeitswissenschaft noch üblich, statisch bewältigt werden, d.h. durch ein deterministisches Forschungsdesign, durch Untersuchungen mit ausgewählten Forschungsgegenständen und Auswertung nach reproduzierbaren Methodiken. Dynamik erwächst dann insbesondere aus dem Spannungsbogen zwischen Sozial- und Ingenieurwissenschaften, und zwar aus unterschiedlichen Annahmen und Vorgehensweisen. Zu nennen sind hier eher durch Texte gekennzeichnete Konzepte und qualitatives Vorgehen in den Sozialwissenschaften gegenüber aus definierten Begriffen aufgebauten Modellen und quantitativen Messungen in den Ingenieurwissenschaften. Arbeiten beide Fachdisziplinen zusammen, gibt es auch Dynamik bei der Interpretation von Ergebnissen, da diese aufgrund des Vorverständnisses durchaus widersprüchlich und nicht dekungsgleich sein können.

Eine Steigerung der Dynamik erfährt die Forschung durch den Einbezug des Nutzers. Insbesondere sind dessen Erfahrungen wichtig, um Bewertungen im veränderlichen Kontext durchführen zu können. Als Adressat von Forschung und Entwicklung müssen deren Produkte die Erwartungen gemäß seiner handlungsbezogenen Bewertungsraster erfüllen.

Im CeA-Forschungsverbund wurden Facharbeiter und Planungsingenieure aus der Betriebspraxis als Nutzer und Betreiber an Forschung und Entwicklung beteiligt. Im Feld 3 sind Fragestellungen aufgeführt, zu denen der Nutzer eine auf seine Erfahrungen fußende Ansicht hat. Auch er hat ein Vorverständnis. Für ihn geht es einerseits darum, seine Arbeitskraft im Betriebsalltag so einzusetzen, daß er sich nicht vollständig verausgabt sondern sie durch Reproduktionspausen immer wieder auffrischen kann (Volmerg 1990), und andererseits um eine Erfüllung individueller Ziele, wie die Entfaltung seiner Persönlichkeit, seine Selbstverwirklichung in der Arbeit sowie seine Zufriedenheit und sein Wohlbefinden. Seine Ansichten können Sichtweisen und Interpretationen aus Sozial- und Ingenieurwissenschaft stützen, können aber auch erheblich davon abweichen und dadurch wichtige Anregungen für eine kontextangemessene Problembewältigung und Bewertung bringen. Forschung über den Einsatz marktgan-





**Bild 5.1:** Sachlogische und interdisziplinäre Zusammenhänge

giger Technik wird hierdurch schon relativ schwierig. Sie wird noch schwieriger, wenn neue alternative Techniken erprobt und bewertet werden sollen, wie es im CeA-Forschungsverbund der Fall war. Hier kann man nicht mehr linear-sequentiell forschen und entwickeln, d.h. von einer interdisziplinär gestellten Frage ausgehend diese nach und nach kontrolliert abarbeiten. Da sich Fragen und Bewertungsraster ändern, bedarf es eines simultan-rekursiven Vorgehens mehrerer Fachdisziplinen und der Berufspraxis.

### **5.1.2 Zusammengefaßte Befunde aus arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen und der Evaluation der technischen Komponenten**

Die Resultate der Untersuchungen im Feld und im Labor lassen sich in allgemeine wie auch spezielle Ergebnisse unterteilen. Als allgemeine Ergebnisse gelten:

1. In der Betriebspraxis sind Arbeitsplanung und Arbeitsausführung bei vielen Werkstattaufgaben getrennt. Dies ist Resultat der arbeitsteiligen Rationalisierung nach den betriebsorganisatorischen Grundsätzen von Taylor (1913) und hiermit gekoppelter Technikentwicklung. Die Genese von Erfahrung wird bei weitgehender Arbeitsgliederung und Reduzierung der Arbeit auf Restfunktionen erheblich erschwert.
2. Die Gliederung des Erfahrungszyklus bei der Arbeit (an Werkzeugmaschinen) in die Phasen Prozeßvorbereitung (Arbeitsplanung bzw. Programmeingabe und Einrichten), Prozeßlenkung (Optimieren und Überwachen) und Prozeßauswertung (Messen und Dokumentation) hat sich unter dem Aspekt der Erfahrungsgenerierung bewährt. Die Facharbeiter berichten, daß sie in diesen Phasen bei der Bewältigung kritischer Situationen prozeßrelevante Erfahrung machen. Die während diesen Phasen erworbenen Erfahrungen bilden im Abgleich untereinander übergreifende umfassende Erfahrungsmuster.
3. Die Gliederung der technischen Unterstützung in die Aspekte Programmerstellung, Prozeßtransparenz und Prozeßregulation hat sich bewährt. Für derartige Aspekte gibt es bei den gegenwärtig eingesetzten Maschinen aussichtsreiche Ansatzpunkte (z.B. für die Programmerstellung Eingabemöglichkeiten mit Klartext und Grafik, für die Prozeßtransparenz Restgeräusche aus gekapselten Maschinen und Sichtfenstern und für die Prozeßregulation Handräder und Override-Regler). Da hierdurch die Potentiale erfahrungsgeleiteter Arbeit nicht ausgeschöpft werden, bieten darüber hinausgehende technische Komponenten Möglichkeiten neuer Unterstützungsformen (z.B. für die Programmerstellung die Möglichkeit, Erfahrungswerte beim Einfahren in Programme zu übertragen oder mit dem Handrad Geometrie- und Technologiewerte durch aktives Tun direkt in das Programm einzugeben, für die Prozeßtransparenz die Transformation von Körperschwingungen in akustische Signale und für die Prozeßregulation den Einsatz neuer

Stellelemente wie den Joystick und den kraftrückgekoppelten Override-Drehschalter). Während die gegenwärtig schon verfügbaren technischen Komponenten Hilfsmittel zur Unterstützung von Erfahrungsbildung und -nutzung sind und eine Wiederherstellung von Arbeitsbedingungen darstellen, wie sie mehr oder weniger an konventionellen Maschinen gegeben waren, stellen die erweiterten neuen technischen Komponenten völlig neuartige Zugänge zum CNC-gesteuerten Bearbeitungsprozeß dar. Sie eröffnen damit die Möglichkeit, auch unmittelbar nicht sichtbare oder verständliche Zusammenhänge sinnlich zu erfassen und dabei auch zeitkritisch reagieren zu können. Damit werden die besonderen Leistungen von CNC-Werkzeugmaschinen, auch schwierige geometrische Konturen und Flächen herzustellen, handlungsgerecht vermittelt.

Als spezielle Ergebnisse sind anzusehen:

4. Im Erfahrungszyklus, d.h. bei der Prozeßvorbereitung, bei der Prozeßlenkung und bei der Prozeßauswertung lassen sich zwei psychische Aufmerksamkeitsmuster als Einstellungsformen unterscheiden. Es handelt sich um die "intensiv angespannte" Zuwendung zu Werkzeugmaschinen auf der einen Seite und eine "distanziert-mechanische" Kontrolle im Umgang mit der Werkzeugmaschine. Diese Aufmerksamkeitsmuster stehen im Zusammenhang mit der Erfahrungsgenerierung in neuen und kritischen Situationen bzw. in bekannten, sich wiederholenden Situationen. Bei diesen beiden Einstellungsformen unterscheiden sich die psychischen Komponenten Orientierung, Aufmerksamkeit, Wahrnehmung und gefühlsmäßig gefärbte Verbindung zu Objekten. Charakteristisch ist die erste Einstellungsform vorwiegend beim Einfahren und die zweite vorwiegend beim Überwachen. Sie finden sich aber auch bei den anderen Phasen des Erfahrungszyklus. Bei der Prozeßvorbereitung läuft der erste Erlebnismodus vermehrt bei der Arbeitsplanung für neue Teile und bei der Aufspannung für vorbereitete Teile ab, während der zweite Erlebnismodus bei häufig wiederholten Programmeingaben und Korrekturen sowie üblicher Einstellung der Maschine eintritt. Bei der Phase Prozeßauswertung findet sich verstärkt der erste Erlebnismodus bei der Erstellung von Prototypen und bei vorbehandelten und neuen Teilen, während sich der zweite Erlebnismodus bei großen Serien und häufig wiederholten kleineren Serien beobachten läßt. Außerdem ist hervorzuheben, daß der Erlebnismodus durch den sozialen Kontext gefördert oder behindert werden kann.
5. Die im CeA-Forschungsverbund entwickelten neuen Ein- und Ausgabemedien werden von Facharbeitern positiv als Unterstützung ihrer Arbeit bewertet. Insbesondere verweisen sie auf den Zusammenhang, daß damit auch neue Zugänge zu Prozeßäußerungen möglich sind (z.B. durch Transformation von Zerspanungskräften und Passivkräften mittels Körperschall) oder neue Einflußmöglichkeiten auf den Prozeß (wie z.B. beim Schrumpfen oder dem Ankratzen beim Nullpunktsetzen mit dem Joystick). Im ersteren Fall werden Schwingungen und Geräu-

sche, die ohne Transformation kaum wahrgenommen werden können, für die Bewertung zugänglich. *"Es kommt mir vor, als läge ich mit dem Ohr auf der Schneide"*, ist eine bildliche Beschreibung dieser häufig geäußerten Meinung. Im zweiten Falle können zwei Maschinenfunktionen (Achsenbewegungen und Vorschubgeschwindigkeit) zu gleicher Zeit eingesetzt werden. *"Es kommt mir vor, als ob ich damit die Maschine wieder im Griff habe"*, ist hierfür eine typische Aussage. Eine Steigerung wird erlebt, wenn diese Ein- und Ausgabemedien kombiniert angewendet werden.

In diesem Zusammenhang ist auch auf Ergebnisse des Vorhabens "Lernen und Fertigen" hinzuweisen. Hier zeigte sich, daß neue Formen der Programmeingabe mit Hilfe eines Handrades erhebliche Erleichterungen für die Arbeitsplanung, insbesondere der Mensch-Maschine-Funktionsteilung, in der Phase der Prozeßvorbereitung darstellen.

6. Aus der Sicht der qualifizierten Arbeitspersonen (also der Nutzer von CNC-Technik) zeigen sich zwei Bewertungskriterien als vorrangig. Es handelt sich dabei einmal um das Kriterium, inwieweit durch gegebene Hilfsmöglichkeiten oder durch neue Ein- und Ausgabemedien die Arbeitsökonomie verbessert werden kann. Hier geht es dem Facharbeiter darum, seine Arbeitsaufgaben möglichst effektiv, d.h. ohne viele Umwege und mit geringem Aufwand zu erfüllen. Darüber hinaus kommt aber auch ein zweites Bewertungskriterium zur Geltung, das sich auf die Möglichkeit für selbstbestätigende Arbeitserlebnisse bezieht. Neben einer positiven Bewertung von Leistung durch andere Fachkräfte und Führungskräfte hat die qualifizierte Arbeitsperson ein Bedürfnis nach einer emotionalen Ausgeglichenheit und Zufriedenheit im Arbeitsprozeß durch Entwicklung von Arbeitsfreude für gelungene Aufgabenbewältigung.

## 5.2 Entwicklungsperspektiven und Mindestanforderungen an die technische Unterstützung erfahrungsgeleiteter Arbeit

Die zuvor kurz genannten zusammengefaßten Befunde aus arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen und der Evaluation von technischen Komponenten geben den Hintergrund ab für zukunftsweisende Innovationen und am Arbeitshandeln von qualifizierten Fachkräften orientierte Entwicklungsperspektiven. Im Vergleich mit den heute verfügbaren Funktionen an Werkzeugmaschinen lassen sich letztlich auch Möglichkeiten bei gegenwärtig eingesetzten Werkzeugmaschinentypen markieren, die erfahrungsgeleitete Arbeit zumindest nicht behindern, aber auch nur geringfügig verstärken. Allerdings ist der Gestaltungsspielraum bei den heute

verfügbaren Unterstützungsmöglichkeiten relativ beschränkt. Er wächst erst durch neue handlungsbezogene Ein- und Ausgabemedien (die gegenwärtig nur als Entwicklungsperspektiven gegeben sind).

### 5.2.1 Entwicklungsperspektiven

Die im folgenden ausgeführten Entwicklungsperspektiven (siehe Bild 5.2) sind als Maximalanforderungen zu verstehen, wie sie sich nach dem neuesten Stand der arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse über erfahrungsgeleitete Arbeit hinsichtlich Programmerstellung, Prozeßtransparenz und Prozeßführung ergeben.

Für die Verbesserung bei der Programmerstellung sind vor allem vier Ansatzpunkte von Bedeutung. Im CeA-Forschungsverbund hat sich gezeigt, daß hierzu die Protokollierung und Dokumentation von Erfahrungswerten (z.B. Override-Protokollierung) geeignet ist. Im Verbundvorhaben "Lernen und Fertigen" zeigte sich, daß durch eine handlungsorientierte Eingabetechnik ein direkter Bezug zur facharbeitergerechten Arbeitsplanung hergestellt werden kann. In dem geplanten Forschungsverbund "Handlungsorientierte Lösung für Werkzeugmaschinensteuerung zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter und gruppenfähiger Facharbeit" und dem Verbundprojekt "Innovative Wege für die Handlungsunterstützung des Facharbeiters an Werkzeugmaschinen" werden neue Zugangsweisen für qualifizierte Arbeitspersonen im Hinblick auf manuelles Steuern von Werkzeugmaschinen (z.B. mit Handrad oder Joystick) konzipiert und erprobt. Schließlich wird in einem angelaufenen Forschungsvorhaben "Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung" eine Rückkopplung von Werkstatt und Programmierabteilung bei NC-Verfahrensketten gesucht, so daß in der Werkstatt das Wieder-Anfahren, das isolierte Bearbeiten einzelner Abschnitte und notwendige Korrekturen (z.B. für Werkzeuglängen) bei der Bearbeitung komplexer geometrischer Formen vorgenommen werden können.

Für eine Verbesserung der Prozeßtransparenz sind Veränderungen der Maschinenkonstruktion (wie z.B. ein sich selbst reinigendes Sichtfenster oder Geräuschklitze) und die Transformation von nicht unmittelbar sinnlich erfaßbaren Prozeßäußerungen (wie z.B. Körperschall und Fliehkräfte beim Zerspanen) geeignet. Der CeA-Forschungsverbund hat hier die ersten Ansätze durch Entwicklung neuer technischer Komponenten aufgezeigt. Die Wirkung derartiger Verbesserungen zur Prozeßtransparenz kann durch Koppelung mit der Verbesserung der Prozeßführung erheblich gesteigert werden.

Defizite		Anforderungen
<b>... bei der Arbeit mit CNC-Maschinen</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN-Code nicht handlungsorientiert</li> <li>• Probleme der Unterbrechung</li> <li>• beschränkte Transparenz</li> <li>• Eingriffe in die Bearbeitung reduziert</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• interaktive Eingabe (Grafik, Klartext, Handrad)</li> <li>• einfaches Wiederanfahren</li> <li>• Indikatoren für Prozeßzustände</li> <li>• erweiterte Handhabbarkeit für Rückkopplung</li> </ul>
<b>... bei der Zusammenarbeit in der Werkstatt</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• inkompatible Steuerung an WZM</li> <li>• unterschiedlicher Hersteller-Code</li> <li>• direktionale Informationsflüsse</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übertragbarkeit von Programmen</li> <li>• Übersichtlichkeit von Ein- und Ausgabetechniken</li> <li>• dezentrale Zugriffe und Rückdokumentation</li> </ul>

**Bild 5.2:** Anforderungen an die technische Unterstützung

Für die Verbesserung der Prozeßführung können kraftrückgekoppelte Override-Regler und Handräder (für das Drehen) sowie ein kraftrückgekoppelter Joystick (für das Drehen und Fräsen) zwecks Beeinflussung von Vorschubgeschwindigkeit und Achsenbewegung dienen. Außer im CeA-Forschungsverbund hat insbesondere auch das Verbundvorhaben "Lernen und Fertigen" hier erste Ansätze geschaffen.

### 5.2.2 Mindestanforderungen

Mindestanforderungen waren Gegenstand verschiedener Fachtagungen und Workshops (z.B. durch die NCG, das RKW oder die IG Metall). Die im folgenden kurz aufgeführten Mindestanforderungen sind Ergebnis einer Fachtagung des RKW "Eine flexible Arbeitsorganisation braucht eine offene, facharbeitsgerechte Steuerung" (1993). Auf dieser Tagung wurden die Anforderungen an eine offene, facharbeitsgerechte CNC-Steuerung



formuliert. Sie sind als Versuch zu werten, für heute auf dem Markt angebotene Werkzeugmaschinen einen am Facharbeiterhandeln orientierten Standard zu setzen. Darüber hinaus wurde auf Gruppengespräche des CeA-Forschungsverbundes im CNC-Zentrum in Hamburg zurückgegriffen, bei denen Ausbilder und berufserfahrene Facharbeiter beim Erlernen von CNC-Technik die an den dortigen Werkzeugmaschinen installierte technische Unterstützung für erfahrungsgeleitete Arbeit erprobten und beurteilten sowie ihre Einschätzungen gemeinsam mit den Forschern reflektierten.

Bei der Analyse der Mindestanforderungen bilden Programmeingabe und -korrektur die Schwerpunkte der Forderungen. Die Handhabung von Maschinen wird durch verschiedene Unterstützungsformen erleichtert. Dazu gehören:

- höhenverstellbare Bildschirme mit selbsterklärender Darstellung und Zoomfunktionen (wie z.B. Lupen- und Spreizfunktionen);
- Programmsimulationen mit Darstellung von Koordinaten, eingespannten Werkstücken und Werkzeugbewegungen, mit freier Wahl der Simulationsgeschwindigkeit sowie Nutzung von Fenstertechnik und Anzeige von Kommentaren;
- die Möglichkeit Korrekturen durchzuführen, ohne Verlust der Daten bzw. der Notwendigkeit, aus dem Programm auszusteigen, Daten zu ändern und neu einzusteigen sowie ein Programm bei gleichzeitiger Abarbeitung zu ändern;
- Verbesserung für das Neu- bzw. Wiederanfahren eines unterbrochenen Programms, so daß es möglich ist, z.B. unter Berücksichtigung der Werkzeugposition, der Achspositionen, der Drehzahl, der Drehrichtung und der Schwenkfutter-Position ein unterbrochenes Programm kollisionsfrei automatisch anzufahren bzw. fortzusetzen;
- daß der Satzablauf mit Berechnungen dargestellt wird, die Rückposition automatisch und kollisionsfrei angefahren werden und ein Einzelsatzbetrieb möglich ist;
- schließlich für die Werkzeugdisposition und -auswahl eine grafische Darstellung von Daten über Form, Koordinaten und einzelne Parameter der Werkzeuge.

Hinsichtlich der Prozeßregulation wird ein bewegliches Steuerpult gefordert, mit Handrädern bzw. einem Joystick für die Bewegung von Achsen und eine Override-Funktion für die Veränderung von Schnittgeschwindigkeiten, möglichst wenige "Schlüsselschalter" und eine aussagefähige Symbollogik.

Anforderungen an eine Erhöhung der Prozeßtransparenz finden sich nur selten. In Gesprächen mit Facharbeitern und Ausbildern am CNC-Zentrum in Hamburg wurde häufig darauf hingewiesen, daß die Geräusche aus dem Arbeitsraum der Maschinen (auch bei teilweiser Kapselung) hierfür ausreichen oder im betrieblichen Alltag beim Einfahren auch Sicherheits Türen leicht geöffnet werden, um aus dem Arbeitsraum Geräusche wahrnehmen zu können.

Die hier kursorisch durchgeführte Gegenüberstellung von Entwicklungsperspektiven und Mindestanforderungen für die erleichterte Hand-

habung von Werkzeugmaschinen zeigt, daß die gegenwärtig im Einsatz befindlichen Maschinen aus der Sicht der Arbeitspersonen derart konzipiert worden sind, daß nur geringe Gestaltungsräume für ihren Bedarf verbleiben. Hier ist schon ein Innovations-Sprung in eine neue Generation von Werkzeugmaschinen notwendig. Der CeA-Forschungsverbund hat hier eine weitgespannte Perspektive setzen können.

### **5.3 Kritik und Erweiterung der arbeitswissenschaftlichen Grundannahmen über das Arbeitshandeln**

Das Forschungsgebiet Arbeitswissenschaft ist im Zusammenhang mit der industriellen Revolution entstanden. Im Vordergrund standen traditionell Fragen der Rationalisierung und ihrer Auswirkung auf Arbeitspersonen, z.B. im Hinblick auf Sicherheit und Belastung (Luczak 1993, Martin 1994). Von dieser Herkunft her ist sie eher ingenieurmäßig bestimmt und orientiert sich an naturwissenschaftlichen Methodiken. Spezielle Disziplinen (wie Arbeitspsychologie und Arbeitspädagogik), die arbeitswissenschaftliche Probleme aufgreifen, haben dieses Raster in der Regel übernommen. Andere erkenntnistheoretisch begründete Vorgehensweisen, die nicht in dieses Raster passen, werden häufig als "weniger" wissenschaftlich eingestuft.

Mit diesem naturwissenschaftlich orientierten Raster werden seit den 70er Jahren auch Untersuchungen über Arbeitstätigkeiten durchgeführt. In solchen Untersuchungen werden die Arbeitspersonen nur insoweit in die Analyse einbezogen, wie sich ihre Verhaltensweisen "objektiv" (der Mensch als Objekt) erfassen, messen und berechnen lassen. Es geht auch nicht um Arbeitspersonen in einem sozialen Kontext (z.B. mit bestimmten Qualifikationen und kulturellem Vorverständnis) sondern um die verallgemeinerte "abstrakte" Arbeitsperson, die eine eindeutig formulierbare Arbeitsaufgabe zu bewältigen hat. Wird auch eine Betrachtung von Arbeitspersonen als soziales Subjekt in einem variablen Kontext (wie es im CeA-Forschungsverbund erfolgt ist) als methodische Herangehensweise zugelassen, müssen verschiedene Grundannahmen bisher vorherrschender Konzepte in der Arbeitswissenschaft kritisch hinterfragt werden. Es ergeben sich andere Konturen für eine notwendige Erweiterung arbeitswissenschaftlicher Problemsicht und Methodik.

#### **5.3.1 Schwachstellen vorherrschender Konzepte**

Ein umfassendes Konzept über Arbeitstätigkeit liegt in der Theorie der Handlungsregulation (Hacker 1976; Tomaszewski 1978; Volpert 1987)

vor. Hinsichtlich der Voraussetzungen von Arbeitstätigkeit sind Untersuchungen über sensomotorische und kognitive Fähigkeiten vorgelegt worden.

Die Theorie der Handlungsregulation wurde in ihrer ursprünglichen Form Mitte der 70er Jahre von Hacker und Volpert entwickelt und in den 80er Jahren ergänzt (Hacker und Richter 1987; Volpert 1990). Arbeitshandlungen (vollständige Handlungen und vollständige Tätigkeiten genannt) erfolgen nach dieser Theorie im Rahmen hierarchisch-sequentieller Handlungsabläufe. Sie beginnen mit der Zielbildung, schreiten mit der Erzeugung und Durcharbeitung von Plänen voran und enden mit einer Rückkopplung an die Zielbildung. Im Handlungsverlauf werden drei Regulationsebenen des Handelns in Anspruch genommen: Die sensomotorische Ebene, die perzeptiv-begriffliche Ebene und die intellektuell-strategische Ebene. Auf diesen Ebenen kann entsprechend den operativen Abbildsystemen, nach spezifischen Plänen und regelgeleiteten Handlungsformen vorgegangen werden. Operative Abbildsysteme, Pläne und Regeln stehen im Vordergrund der Analyse des Handelns. In ähnlicher Weise unterscheidet Rasmussen drei Kontrollebenen: die Gewohnheitsebene, die Regelebene und die Wissensebene (Rasmussen 1982).

Arbeitswissenschaftliche Ansätze im Hinblick auf Wahrnehmung und Denken betonen die Bedeutung mentaler Modelle und psychischer Mechanismen im Sinne von Informationsverarbeitung. Für die Herausbildung sensomotorischer Fähigkeiten für Greif- und Körperbewegungen wird auf die Rolle von Signalerfassung und den Aufruf von Schemata hingewiesen (Zimmer 1990).

Aufgrund der überblicksartig dargestellten Ergebnisse des CeA-Forschungsverbundes sind allerdings einige der hier nur kurz erwähnten Annahmen ingenieurmäßig ausgerichteter Arbeitswissenschaft in Frage zu stellen. Dazu gehört die Annahme, daß in der Regel im Gedächtnis relativ feste Abbildungssysteme der "wahrgenommenen" Umwelt einer Person gegeben sind. Hier ist zu bezweifeln, daß es stets eine deckungsgleiche Entsprechung von "Außen-" und "Innenwelt" (z.B. über Reize) von Arbeitspersonen gibt. Das gilt auch für die Annahme, daß Pläne (für die Bewältigung von Aufgaben) und Programme (z.B. für wiederholte Bewegungen) grundsätzlich gedächtnismäßig als stabile Muster vorhanden sind. Bei der Bearbeitung komplexer Aufgaben in komplexen Arbeitskontexten bedarf es offensichtlich einer anderen Herangehensweise, als vorgegebene Pläne und Programme und deren Varianten "schubladenmäßig" im Gedächtnis abzufragen. Eine aktuelle Zusammensetzung gespeicherter Elemente bedarf wiederum einer kontextgemäßen Strukturierung. Eine erweiterte Annahme, daß hierfür gedächtnismäßig "Meta-Strukturen" zur Verfügung stehen, verlagert das Problem nur.

In der Theorie der Handlungsregulation und den Konzepten über den Erwerb sensomotorischer Fertigkeiten und situationsadäquater Informationsverarbeitung werden Gefühle nur als Begleiterscheinungen angesehen. Daß sie sehr wohl interne "Schlüssel" für die Bewältigung von Aufgaben sein können, in dem sie Situationen färben, auf relevante Informationsquellen aufmerksam machen und psychische Energie bereitstellen, läßt sich mit diesem theoretischen Ansatz nicht erklären. Hierfür ist der in

den CeA-Verbünden verfolgte sozialwissenschaftliche Ansatz über ein subjektivierendes Arbeitshandeln angemessener, da für die erfolgreiche Bewältigung kritischer Arbeitssituationen vor allem emotional gefärbte Erlebnismodi bedeutsam sind. Allerdings wird aus dieser Sicht hervorgehoben, daß mit den eher kognitiv-orientierten Konzepten der Theorie der Handlungsregulation Merkmale und Verläufe objektivierenden Handels angemessen erfaßt werden können. Für derartig kognitiv-rationale Prozesse bedarf es grundlegend theoretischer Kenntnisse und logisch formaler Denkformen, die Wahrnehmung ist auf definierte und meßbare Information hin ausgerichtet. Wahrnehmung und Denken sind durch kategoriales und formalisierbares Wissen geprägt, das auch kontext- und personenunabhängig gespeichert werden kann. Zu Gegenständen wird eine neutrale, distanzierte Haltung eingenommen. Der Umgang mit Objekten ist eher instrumentell bzw. planmäßig und zielorientiert. Arbeitsprozesse, bei denen auf Symbollogik beruhend Berechnungen zu erfolgen haben, sind deshalb sehr wohl mit diesem Ansatz erfaßbar und deutbar.

### **5.3.2 Konturen für eine erweiterte arbeitswissenschaftliche Problemsicht und Methodik**

Wie die empirischen Befunde zeigen, kommt in Arbeitssituationen, in denen es um neue Problemstellungen, Bewertung komplexer Zusammenhänge und zeitkritische Eingriffe in Prozesse geht, vor allem der Modus des subjektivierenden Handels zum Tragen. Er ist als bestimmende Steuergröße in diesen Arbeitssituationen zu verstehen. Formen objektivierenden Handelns werden dementsprechend eingesetzt. Um diesen Umstand zu erklären, müssen andere Annahmen als bisher entwickelt werden. Hier kann auch auf neue physiologische und psychologische Erkenntnisse zurückgegriffen werden, die im Rahmen anderer Fragestellungen und von anderer Seite formuliert worden sind. Zu nennen sind hier:

1. Die menschlichen Sinne werden nicht nur "passiv" zum Registrieren eingesetzt. Sie führen vielmehr eine aktive Selektion von Außenreizen durch, (wobei die Verarbeitung von Reizen nicht nur zeitlich verzögert auf höheren Stufen im Gehirn stattfindet). Die Wahrnehmung kennt auch aktive Prozesse der Selbstorganisation. Die mentale Repräsentation im Sinne einer Globalkartierung ist prozeduraler Natur. Das Gedächtnissystem funktioniert als eine Art assoziative Rekategorisierung unter Benutzung von Globalkartierungen. Bei komplexen Lernvorgängen arbeiten (begrifflich faßbare) Klassifikationspaare (für Merkmale), motorische Ensembles und limbische Strukturen (als Korrelat von Gefühl) zusammen. Es entstehen neuronale Dreieck-Netze (Edelmann 1993). Der in dem CeA-Forschungsverbund hervorgehobene Befund, daß die komplexe Wahrnehmung, die Bewegung in Raum und Zeit sowie die Bewertung von Arbeitssituationen einen gemeinsamen Faktor bilden, werden in dieser physiologischen Theorie der Selektion neuraler Gruppen als Bestandteil des Lernens erklärt. Dies gilt auch für den

beobachteten Tatbestand, daß insbesondere Veränderungen in Verläufen bei der Bewertung von Prozeßzuständen eine hervorgehobene Rolle spielen. Für Verläufe (z.B. von Eigenbewegung oder von Bewegung anderer Objekte) für visuell-auditiv oder kinästhetisch erfaßte Abfolgen, gibt es keine Schablonen im Gehirn, die nur abzurufen wären. Das Erfassen dieser Verläufe und der Umgang mit ihnen unterliegt einem neuronalen Prozeß der Selbstorganisation, bei dem auch entfernte Neuronengruppen miteinander gekoppelt werden.

2. Die menschliche Psyche baut innere Bilder auf, die nicht nur äußeren Reizen entsprechen oder aus diesen in einem Abbildsystem zusammengesetzt sind. Sie ergänzt weniger zugängliche Teile und kann Gestalten unabhängig von ihrer Lage im Raum und unabhängig von bestimmten Deformationen her, erkennen. Aufgrund der Selbstorganisation der Wahrnehmung und der Kopplung mit einem assoziativen Gedächtnis können innere Vorstellungsbilder (die nicht deckungsgleich der Summe der Außenreize sind) für den Vollzug von Arbeitshandlungen und die Bewertung von Ergebnissen erzeugt werden. Es kann hinter Kanten "gesehen" werden. Geräuschverläufe werden als "satt" (d.h. zusammenhängend) oder "ungut" (d.h. wenig aussagefähig) eingestuft. Es handelt sich um einen synergetischen Vorgang. "Wahrnehmung" ist mit "Wahr-bildung" gleichzusetzen (Haken und Haken-Krell 1993). Neben "Oberflächen"strukturen der Wahrnehmung müssen auch "Tiefen"strukturen der Wahrnehmung unterschieden werden. Diese können genereller Art sein (wie beispielsweise die Gestaltbildung bei der Mustererkennung) aber auch individueller Art durch personenbezogene Bedeutungszuweisungen (Stadler und Kruse 1991).
3. Neuere gedächtnis- und denkpsychologisch ausgerichtete Untersuchungen unterstreichen die menschliche Fähigkeit zur multimodalen Informationsverarbeitung auf der Grundlage assoziativer Gedächtnisstrukturen (Klimesch 1988; Engelkamp 1991). In einer konkreten Situation kommt das Teilsystem des Gedächtnisses zum Einsatz, das auf die Verarbeitung spezifischer Informationen spezialisiert ist. Andererseits werden auch intern Informationen durch konzeptionelle Prozesse zur Verfügung gestellt. Es gibt nonverbale und verbale konzeptionelle Systeme ebenso wie nonverbale und verbale sensomotorische Systeme, d.h. auch unbewußtes Lernen mit Hilfe perzeptueller Gestalten oder durch motorische Erfahrungsnachwirkungen, die nicht verbalisiert werden können (Perrig, Wippich und Perrig-Chiello 1993). Rekognition erfolgt durch die Verarbeitung von Bild-, Wort- und Gefühlsmarken. In der Auseinandersetzung mit der Umwelt werden gleichsam die Systeme einzeln oder die Kombinationen verschiedener genutzt, die es erlauben, in einer Situation möglichst wenig psychische Energie zu verbrauchen. In diesem Sinne kann man auch von dissipativen Strukturen der Wahrnehmung sprechen (Rose 1982). In einer zeitkritischen Situation sind deshalb der Vollzug einer Handlung mit der Vorstellung einer Handlung unmittelbar verschränkt. Die Wahrnehmung von Räumen und die Erfahrungen über Bewegungen in Räumen sind wichtige ex-



terne und interne Quellen für Informationsgewinnung und Handlungsveranlassung. So wie bei mentalen Vorstellungen in den Strukturen dieser Vorstellungen bereits Denkergebnisse gespeichert sind, wie sie sonst durch analytische Schlußfolgerungen erst gewonnen werden müssen, stellen auch Architekturen in Räumen und die möglichen Bewegungen in ihnen Muster dar, mit denen ein leichter selektiver Zugang in diese Umwelt möglich ist (Oberquelle 1993). Im Sinne der Feldtheorie von K. Lewin haben auch "soziale Räume" Aufforderungscharakter, die Zuordnungsprozesse und Einstellungen erleichtern.

4. Schließlich ist auch noch auf Ergebnisse lernpsychologischer Forschung hinzuweisen. In vergleichenden Untersuchungen zwischen Könnern bzw. Experten und durchschnittlichen Fachleuten konnten sehr aufschlußreiche Unterschiede festgestellt werden. Experten beherrschen die Aufgaben- bzw. Problemlösung als "Können". Sie werden auch mit unklaren, d.h. schlecht definierten Aufgaben und Problemen fertig. Sie verfügen über Vorgehensweisen ebenso wie über das Wissen von Sachverhalten. Sie verfügen über ein ganzheitlich organisiertes Wissen hinsichtlich der Eingriffsmöglichkeiten in Prozesse und über mögliche Zustände oder Prozeßmerkmale. Aufgrund von Vorsignalen oder Markierungen in Handlungssituationen ist ihr Vorgehen eher aktiv-explorativ. Hierbei werden vermehrt Heuristiken eingesetzt. Expertenwissen ist häufig verkürzt und verdichtet und enthält größere Anteile nicht-bewußt genutzter Kenntnisse und nicht-bewußter Prozeduren. Expertenwissen hat einen starken Kontextbezug und vermag die Folgen von Maßnahmen oder Aktionen differenziert vorauszusehen (Hacker 1992). Bei der Erschließung komplexer Problemstrukturen und in zeitkritischen Handlungsrahmen ist auch ein anderer Modus des Handelns wirksam, der sich als intuitiv-improvisierend kennzeichnen läßt (Volpert 1992). Hier wird eine Grundform der Erfahrungsgenerierung im Tun wirksam, die nicht unbedingt der Reflexion oder Bewußtmachung bedarf. Im Sinne einer Verhaltens-Erlebnis-Kovariation können gefühlsbetonte Reaktionsmuster aufgebaut werden, die auch intuitive Entscheidungen ermöglichen (Perrig, Wippich und Perrig-Chiello 1993). Durch Handeln können Gestalten gebildet werden, die in ähnlichen Situationen zur Orientierung dienen können. In diesem Zusammenhang stellen das Erleben und die Emotionen nicht nur Resultate von Handlungen dar, sondern sind auch als Steuergrößen von Tätigkeiten anzusehen (Kannheiser 1992). Emotionen können auch im Sinne von Schaltfunktionen für die Umstellung von einem rational-analytischen zu einem intuitiv-simultanen Informationsverarbeitungsmodus (und umgekehrt) fungieren (Kuhn 1983). Für das Lernen bedeutsam sind aber nicht nur physiologische und kognitive Aspekte, sondern genauso soziale Aspekte, d.h. Bedeutungszusammenhänge aus dem historischen oder sozialen Umfeld von Personen. So kann z.B. die Entfaltung von Bewegungspotentialen auch durch transformierenden Bewegungsnachvollzug, d.h. durch Aneignung eines traditionellen Umgangs mit Werkzeugen gefördert werden. In der Welt sind "systematische" Beziehungen als sachlich-soziale Bedeutungsstruk-



turen gegenständlich, die im Lernen durch eine Person realisiert werden können (Holzkamp 1993). Lernen erfolgt in einem kulturellen Kontext. Dadurch ändern sich auch die Gestaltungsmöglichkeiten für Arbeit und Technik. Werden Arbeitspersonen per Herausbildung und Umsetzung an Gestaltungsmöglichkeiten beteiligt, ändern sich auch ihre Voraussetzungen zum Lernen. Die Gestaltung der Rahmenbedingungen zum Lernen durch die Lernenden in Form von Beteiligung eröffnet somit neuartige Dimensionen für Lernvorgänge (Sell und Fuchs-Frohnhofen 1993).

## 5.4 Konsequenzen für die Arbeitsforschung und Arbeitsgestaltung

Für die Arbeitsforschung und Arbeitsgestaltung ergeben sich aufgrund der empirischen Befunde zum Arbeitshandeln mit Werkzeugmaschinen sowohl Forderungen zur systematischen Nutzerbeteiligung wie auch Umrisse für ein neues arbeitswissenschaftliches Paradigma.

### 5.4.1 Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerbeteiligung

In den Untersuchungen des CeA-Forschungsverbundes haben sich drei Möglichkeiten für die Beteiligung der Nutzer mit typischen Grenzen herausgebildet:

- Nutzerbeteiligung hat sich sehr gut bewährt beim Aufdecken von aktuellen Schwachstellen bei der Arbeit mit Maschinen oder Systemen. Wenig bis mittel erfolgreich waren die Zuordnungen von Ursachen zu Schwachstellen. Ein Grund liegt darin, daß die verschiedenen Nutzer (Facharbeiter als Spitzenkänner und als normale Maschinenführer, Einrichter, Servicefachleute, technisches Werkstattpersonal und Angelernte) zwar für ihren Aufgabenbereich Quellen für aktuelle Schwachstellen bezeichnen können, bei komplexen strukturellen Zusammenhängen aber den Überblick verlieren. Gruppendiskussionen können hier zwar Zusammenhänge klären helfen, aber letztlich unter den Zeitzwängen von solchen Projekten nur Materialien liefern, auf die strukturelle Analysen aufsetzen können.
- Mittelgut erwies sich die Beteiligung von Nutzern bei den durchgeführten Bewertungen von prototypischen Lösungen technischer wie auch organisatorischer Komponenten. Hier gab es gute bis mittelgute Erfolge, sofern für die Bewertung der Lösung Vergleichsmaßstäbe aus der Arbeitsumwelt oder Kontraste im Versuch herangezogen werden konnten; aber nur mäßige, wenn die Bewertung nur auf einer kurzfristigen Er-

probung gründen konnte. Hier bedürfte es längerer Zeit des Vertrautwerdens mit technischen und organisatorischen Lösungen, um aufgrund bisheriger Erfahrung (in ähnlichen Situationen) oder neuartiger Erfahrung beim Erproben Urteile zu fällen. Auffällig war die Beobachtung, daß bei inkrementellen Veränderungen die Urteilsfähigkeit gesteigert wurde. Dies gilt ebenso für integrierte Lösung mit mehreren Komponenten.

- Die Nutzerbeteiligung erwies sich im Durchschnitt als schwach, wenn es um die Herausbildung neuer innovativer Ansätze ging. Hier gibt es zwar z.T. sehr gute Vorschläge von Spitzenkönnern. Für den Großteil der normalen Maschinenführer und Angelernten stellte dies aber eine Überforderung dar. Durch das emotionale und soziale Arrangieren der Arbeitspersonen mit den aktuellen Arbeitsbedingungen wird der Blick für Verbesserungschancen verstellt. Erst bei gleichzeitiger Beteiligungsqualifizierung und Reorganisation können Kommunikations- und Kooperationsfähigkeit erhöht werden.

Nutzerbeteiligung ist somit umso erfolgreicher, je präziser der Bereich ist, für den der Nutzer unmittelbar beteiligt wird. In diesen Bereichen kann das Prinzip des Lernens im Prozeß greifen. Der Bereich ist überschaubar, die Maßnahmen lassen sich überblicken, Ergebnisse sind anschaulich. Entscheidungen können unmittelbar rückgekoppelt werden.

#### 5.4.2 Paradigma für Forschung und Gestaltung

Die Ergebnisse des CeA-Forschungsverbundes, des Vorhabenverbundes "Fertigen und Lernen" und der Voruntersuchung zum Verbundvorhaben "Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung" haben einen Querschnittskatalog für Fragenkomplexe und erwartete Ergebnisbereiche hervorgebracht. Dieser Querschnittskatalog läßt sich auch im Sinne allgemeiner Erkenntnistheorie als ein neues arbeitswissenschaftliches Paradigma für Arbeitsforschung (z.B. im Rahmen von Technikentwicklung) und für Arbeitsgestaltung (z.B. im Rahmen von Organisationsentwicklung) bezeichnen. Demnach läßt sich erfahrungsgeleitete Arbeit als ein bedeutsames Prinzip qualifizierter Produktionsarbeit (zum Beispiel zur Sicherung von Flexibilität und Qualitätsmaßstäben) steigern durch die Schaffung von mehreren Voraussetzungen, und zwar durch:

- eine dynamische Funktionsteilung zwischen Menschen und Maschinen (Systemen), bei der den Arbeitspersonen Optionen zur Verfügung gestellt werden, um ihre Arbeit nach den für sie angemessenen arbeitsökonomischen Strategien durchführen zu können;
- eine viele Sinne aktivierende Transparenz von Prozeßzuständen und Vorgängen in der Steuerung, d.h. durch Transformation von Informationsquellen aus dem Arbeitsraum und handlungsorientierte Benutzeroberflächen von Rechnersystemen;

- eine prozeßnahe Regulation von Zerspanungsvorgängen, z.B. durch Nutzung von Override-Drehschaltern, Handrädern und Joystick;
- eine Integration von Arbeitsplanung und Arbeitsausführung, z.B. durch handlungsbezogene Eingabemedien in die Programme und die Möglichkeit zum manuellen Steuern und damit auch Programmieren von Maschinen im Playback-Verfahren;
- ein Lernen im Prozeß, z.B. durch Selbstorganisation der Arbeitstätigkeiten im Aufgabenspektrum sowie die Möglichkeit zur Arbeitsdokumentation;
- eine kooperative Zusammenarbeit, um Erfahrungen auszutauschen, zu erweitern, vor allem aber auch Fehler in der Erfahrungsgenerierung aufzudecken oder zu vermeiden.

## 5.5 Literatur zu Kapitel 5

- Böhle, F.; Rose, H.: Technik und Erfahrung. Arbeit in hochautomatisierten Systemen. Frankfurt/M./New York: Campus Verlag 1992.
- Böhle, F.; Rose, H.: Erfahrungsgeleitete Arbeit bei Werkstattprogrammierung - Perspektiven für Programmierverfahren und Steuerungstechniken. In: H. Rose (Hg.): Programmieren in der Werkstatt. Frankfurt/M./New York: Campus Verlag 1990, S. 11-95.
- Böhle, F.; Milkau, B.: Vom Handrad zum Bildschirm - Eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozeß. Frankfurt/M./New York: Campus Verlag 1988.
- Bubb, H.: Menschliche Zuverlässigkeit. Landsberg: Verlag Moderne Industrie 1992.
- Carus, U.; Schulze, H.; Ruppel, R.: Der Drehprozeß zum Greifen nah. In: Technische Rundschau Wissen, 85 (1993) September, S. 15-18.
- Carus, U.; Rose, H.; Schulze, H.: Erfahrungszyklen beim Arbeitshandeln mit CNC-Werkzeugmaschinen. (Unveröffentlichter Arbeitsbericht des CeA 1 Forschungverbundes). Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft der GhK 1992.
- Edelmann, G. M.: Unser Gehirn - ein dynamisches System. München 1993.
- Engelkamp, J.: Das menschliche Gedächtnis. 2. Aufl. Göttingen: Hogrefe 1991.
- Frese, M.: Arbeit und Emotion. In: Frei, F.; Udris, I. (Hg.): Das Bild der Arbeit. Bern: Huber 1990, S. 285-301.
- Greif, S.: Exploratorisches Lernen in der Mensch-Computer-Interaktion. In: Frei, F.; Udris, I. (Hg.): Das Bild der Arbeit. Bern: Huber 1990, S. 143-157.
- Hacker, W.: Expertenkönnen. Göttingen: Verlag für angewandte Psychologie 1992.
- Hacker, W.; Richter, P.: Psychische Regeneration von Arbeitstätigkeiten - Ein Konzept in Entwicklung. In: Frei, F.; Udris, I. (Hg.): Das Bild der Arbeit. Bern: Huber 1990, S. 125-142.

- Hacker, W. (Hg.): Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1976.
- Hänggi, D.: Visuelle Vorstellungsfähigkeit. Bern: Hans Huber 1989.
- Haken, H.; Haken-Krell, M.: Erfolgsgeheimnisse der Wahrnehmung. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 1992.
- Holzkamp, K.: Lernen. Frankfurt: Campus 1993.
- Kuhl, I.: Emotion, Kognition und Motivation. Die funktionale Bedeutung der Emotionen für das problemlösende Denken und für das konkrete Handeln. In: Sprache und Kognition, (1983) 4, S. 228-253.
- Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. Berlin: Springer 1993.
- Martin, H.: Grundlagen der menschengerechten Arbeitsgestaltung - Handbuch für die betriebliche Praxis. Köln: Bund 1994.
- Mertens, R.; Rose, H.; Ligner, P.: Prozeßtransparenz und manuelle Prozeßführung - Fräsen mit Kopfhörer und Joystick. In: Technische Rundschau 85 (1993) 36, S. 62-66.
- Oberquelle, H.: Prävention in der Software-Entwicklung durch Gestaltung von (Spiel-) Räumen. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft (1993) 3, S. 168-178.
- Perrig, W. J.; Wippich, W.; Perrig-Chiello, P.: Unbewußte Informationsverarbeitung. Bern/Göttingen: Hans Huber 1993.
- RKW: Rationalisierungskuratorium der deutschen Wirtschaft (Hg.): Anforderungen an eine offene facharbeitergerechte CNC-Steuerung. Eschborn: RKW 1993.
- Rosé, H.: Erfahrungsgeleitete Arbeit als Fokus für Arbeitsgestaltung und Technikentwicklung. In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie (1992) 1, S. 22-29.
- Rose, H.; Jansen, H.: Behinderung statt Entwicklung der Arbeitnehmerpersönlichkeit durch Computertechnologie. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 35 (1981) 4, S. 247-253.
- Sell, R.; Fuchs-Frohnhofer, P.: Gestaltung von Arbeit und Technik durch Beteiligungsqualifizierung. Opladen: Westdeutscher Verlag 1993.
- Sell, R.; Henning, K. (Hg.): Lernen und Fertigen. ARMT der RWTH Aachen, Bd. 2, Aachen 1993.
- Stadler, M.; Knese, P.: Visuelles Gedächtnis für Formen und das Problem der Bedeutungszuweisung in kognitiven Systemen. In: Schmidt, S. (Hg.): Gedächtnis, Probleme und Perspektiven der interdisziplinären Gedächtnisforschung. Frankfurt/M: Suhrkamp 1991, S. 250-266.
- Tomaszewski, T.: Tätigkeiten und Bewußtsein. Beiträge zur Einführung in die polnische Tätigkeitspsychologie. Weinheim/Basel: Beltz Verlag 1978.
- Taylor, F. W.: Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung. München/Berlin 1913.
- Volmerg, B.: Arbeit als erlebte Wirklichkeit. In: Psychosozial (1990) 43, S. 80-91.
- Volpert, W.: Wie wir handeln - was wir können. Heidelberg: Roland-Asanger Verlag 1992.
- Volpert, W.: Welche Arbeit ist gut für den Menschen? Notizen zum Thema Menschenbild und Arbeitsgestaltung. In: Frei, F.; Udris, I. (Hg.): Das Bild der Arbeit. Bern: Huber 1990, S. 23-40.

- Volpert, W.: Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. In: Kleinbeck, U.; Rutenfranz, I. (Hg.): Arbeitspsychologie. Göttingen: Hogrefe 1987, S. 1-42.
- Volpert, W.: Gestaltbildung im Handeln, zur psychologischen Kritik des mechanischen Weltbildes. IfHA-Bericht Nr. 4. Berlin: Technische Universität 1984.
- Waldmann, M. R.: Schema und Gedächtnis. Heidelberg: Roland-Asanger Verlag 1990.
- Wehner, Th.: Über die Hand und das durch Technik Abhandengekommene. In: Frei, F.; Udris, I. (Hg.): Das Bild der Arbeit. Bern: Huber 1990, S. 71-90.
- Zimmer, A. C.: Der Erwerb komplexer motorischer Fertigkeiten. In: Hoyos, C. Graf; Zimolong, B. (Hg.): Ingenieurpsychologie, Bd. 2. Göttingen: Hogrefe 1990, S. 148-177.

## **6 Herstellerübergreifende und nutzerorientierte Technikentwicklung als Innovationsstrategie für die Produktion im 21. Jahrhundert**

Helmuth Rose, ISF München

Die CeA-Forschungsverbünde "Prozeßbeherrschung durch Erfahrungswissen und deren technische Unterstützung" sowie "Erfahrungswissen im CIM-Umfeld: Grundlegende Untersuchungen zur Sicherung und Förderung von Erfahrungswissen in der betrieblichen Praxis" haben neben neuen technischen Konzeptionen hinsichtlich Ein- und Ausgabemedien zur Prozeßbeherrschung und hinsichtlich der Informationsunterstützung zur Auftragsdisposition in der Werkstatt insbesondere auch mit den Konzepten im Zusammenhang stehende weiterführende Erkenntnisse zur Gestaltung von Prozessen der Technikentwicklung hervorgebracht.

Dahei handelt es sich insbesondere um zukunftsweisende Innovationsstrategien, die im folgenden kurz dargestellt werden. Ausgangspunkt ist dabei das vorherrschende Innovationsmuster im Werkzeugmaschinenbau der BRD und seine erkennbaren Defizite.

### **6.1 Linear-sequentielle Entwicklungsprozesse als noch vorherrschendes Innovationsmuster im Werkzeugmaschinenbau**

Die Anfang der 90er Jahre offensichtlich werdende Krise im deutschen Werkzeugmaschinenbau ist nicht nur Reaktion auf die Veränderungen im Weltmarkt, sondern auch ein Produkt der traditionell eingeschlagenen Wege bei Innovationen. Im Vergleich der führenden Industrienationen ergeben sich hier nicht zu vernachlässigende Hinweise.



### 6.1.1 Vergleich der Innovationsmuster zwischen der BRD, Japan und USA

Über die Charakteristik und die Defizite bei Produktinnovationen im Werkzeugmaschinenbau der Bundesrepublik Deutschland sind in den letzten Jahren mehrere detaillierte Untersuchungen vorgelegt worden. Eine Gegenüberstellung amerikanischer und deutscher Innovationsmuster bei der Entwicklung von Fertigungstechnik hat Hirsch-Kreinsen in seinem Buch "NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozeß" 1993 gemacht. "Ein Vergleich von Strategien und Vorgehensweisen in der Produktinnovation in Japan und Deutschland am Beispiel des Werkzeugmaschinenbaus" ist von Moritz 1993 in einer Dissertation an der TU Tokio vorgenommen worden. Eine weitere Studie hierzu ist 1992 von Brödner und Schultetus unter dem Titel "Erfolgsfaktoren des japanischen Werkzeugmaschinenbaus" erschienen.

Stärken des deutschen Werkzeugmaschinenbaus sind:

- der hohe Anwenderbezug bei ausgewählten Kunden,
- eine ausgeprägte Kooperation von Firmen und wissenschaftlichen Instituten,
- Konzentration auf Hochtechnologie und Speziallösungen,
- hohe Kompetenz von Entwicklern und Konstrukteuren, insbesondere im Bereich der Mechanik,
- Erfahrungsaustausch zwischen Konstrukteuren und Facharbeitern in den Herstellerfirmen.

Als Schwächen des deutschen Maschinenbaus werden angesehen:

- zulange Entwicklungszeiten und dadurch hohe Produktpreise,
- Vernachlässigung der Volumenmärkte mit universellen Maschinen,
- hohe Wartungskosten,
- Dominanz technischer Denkweisen (und Vernachlässigung ökonomischer Zusammenhänge).

Die Stärken des japanischen Werkzeugmaschinenbaus liegen demgegenüber in der intensiven Marktbeobachtung, der Konzentration und schnellen Anpassung von Standardprodukten, hohen Auslandsinvestitionen und einem industriepolitischen Networking (durch das MITI). Als Schwächen gelten Rückstände in Software-Technik, Fabrikautomation und Hochpräzision, suboptimale Kooperation von Unternehmen mit Universitäten und Forschungseinrichtungen und verbesserungswürdige Berufsausbildung für die Werkzeugmaschinenindustrie (Moritz und Moldaschl 1993).

Als Stärken des amerikanischen Maschinenbaus können die weitgehende Orientierung an Serien- und Massenproduktion, die Konzentration der Forschung auf Großbetriebe und die Weiterentwicklung von Software angesehen werden. Schwächen bestehen in der Bevorzugung eher konventioneller Maschinenkonzepte, in der verstärkt wissenschaftlichen (eher) anwendungsfernen Orientierung des Entwicklungspersonals und

der Dominanz großer Anwender als Promotoren für Technikentwicklung (Hirsch-Kreinsen 1993).

Viele deutsche Unternehmer haben mit ihren nach Kundenwünschen konstruierten und deshalb teuren - Spezialmaschinen international die führenden Positionen in vielen Nischenmärkten errungen, während die Japaner die Volumenmärkte mit Serienmaschinen beherrschen und obendrein zunehmend differenzierte Standardmaschinen mit Varianten und Extras anbieten, die zwar nicht an die Leistungsfähigkeit komplizierter Spezialmaschinen aus deutscher Produktion heranreichen, gleichwohl aber eine erhebliche Anwendungsbreite treffen. Mit dieser Taktik sind deutsche Hersteller in immer kleinere Nischen und High-Tech-Segmente abgedrängt worden (VDW 1993).

### **6.1.2 Herstellerfokussierung bei Innovationsprozessen der BRD**

Das typische Innovationsmuster im Maschinenbau der BRD besteht darin, daß ein Hersteller für einen bestimmten Anwender Maschinen entwickelt und sich hierfür mit einem Steuerungstechnikhersteller verbindet. Im Vordergrund der Entwicklung stehen Speziallösungen. Der Entwicklungsprozeß ist linear und sequentiell. Er beginnt mit einer Vorgabe der gewünschten Leistungen durch einen Anwender, setzt sich mit der Entwicklung eines Funktionsmodells (Maschinenkonzepts) fort, das dann durch Steuerungstechnik ergänzt wird, und führt nach dem Test von Prototypen zur Inbetriebnahme beim Anwender.

Da der Hersteller einen immensen Aufwand an Eigenentwicklung betreiben muß, kommt es zu langen Entwicklungszeiten und hohen Entwicklungskosten. Da auf bestimmte Anwender zugeschnittene Maschinen mit einer festgelegten Systemstruktur hergestellt werden, ist der Änderungsaufwand bei Nachfrageerweiterungen oder -verschiebungen hoch. Dies gilt auch hinsichtlich der Service- und Wartungskosten für Hersteller und Anwender. Eine Integration gelieferter Maschinen mit anderen Fabrikaten ist schwierig und gelingt nur mit Zusatzaufwand im Rahmen herstellerspezifischer Systemkonzepte.

Soll der deutsche (und damit gekoppelt auch europäische) Werkzeugmaschinenbau international wettbewerbsfähig bleiben, bedarf es neuartiger Innovationsstrategien im Hinblick auf die zu verfolgenden Perspektiven, auf die Vorgehensweise bei Entwicklungsprozessen und auf die dabei eingesetzten Methodiken. Welchen Anforderungen dabei erfolgversprechende Strategien der Zukunft zu genügen haben, ist durch verschiedene Entwicklungsaktivitäten und Forschungsarbeiten in den letzten Jahren aufgezeigt worden.

## 6.2 Neue Anstöße für die Organisation von Entwicklungsprozessen im Werkzeugmaschinenbau

In der gegenwärtigen Krise werden sehr unterschiedliche Bewältigungsperspektiven verfolgt. Wie die EMO '93 zeigte, konzentrieren die Hersteller hauptsächlich ihr Angebot. In einigen Fällen wird es verbessert. Neue Produkte bilden die Ausnahme.

Interessant waren aus der CeA-Sicht vor allem Verbesserungen in Richtung arbeitsgerechter Handhabung von Maschinen.

### 6.2.1 Handlungsbezogene Angebote von Herstellern (auf der EMO '93)

Auf der EMO '93 präsentierte sich neben weiterentwickelten Spezialmaschinen eine neue Generation von Werkzeugmaschinen. Vorrangig zu nennen sind hier insbesondere preiswerte low-cost-Universalmaschinen für die Fertigung von Kleinserien und im Übergangsbereich zur mittleren Serie. Ihr auffälligstes Merkmal war eine Rückbesinnung auf Handbedienung und angepaßte Steuerung für die einfachere Nutzung von Maschinen. Das Angebot reichte von Teach-In- und Record-Playback-Funktionen über elektronische Handräder bis zum gesteuert-konventionellen Drehen. Hiermit sollte insbesondere das Interesse der kleinen und mittleren Betriebe gewonnen werden, für die der Einsatz teurer CNC-Maschinen häufig nicht effektiv ist. Der Programmieraufwand rentiert sich erst bei einem bestimmten Arbeitsvolumen und für komplexe Teile. Einfache Teile, Spezialanfertigungen, ein oder zwei Stückzahlen bis Kleinserien sind meist viel schneller manuell zu fertigen. Was man durch Hochleistungsbearbeitung an CNC-Maschinen gewinnt, wird oft durch höhere Störanfälligkeit, Nachbearbeitungsaufwand oder Engpässe im Teiledurchlauf mehr als wettgemacht. Aus diesen Gründen ist die Nachfrage nach konventionellen oder reduzierten hoch. Bei diesen reduzierten CNC-Maschinen lassen sich drei neue Maschinengrundtypen unterscheiden. Beim ersten Typ handelt es sich um eine aufgerüstete konventionelle Maschine. Sie erlaubt konventionelles Arbeiten mit Handradsteuerung ebenso wie den Abruf von Steuerungsfunktionen (mittels Geometrie-Elementen), parametrierbare Zyklen, Teach-In-Funktionen). Der zweite Maschinengrundtyp erlaubt die volle CNC-Funktionalität mit Automatikbetrieb, ebenso aber auch die Kombination von Teach-In und Record-Playback. Beim dritten Maschinentyp handelt es sich um CNC-Maschinen mit einer bedienerfreundlichen Benutzungsoberfläche und systematisch integrierter Handradfunktionalität. Sie erlaubt Fertigungshandeln mit interaktiver Geometrieunterstützung auf der Grundlage eines mitlaufenden Programmier-bzw. Simulationsmodells. Charakteristik dieser neuen Maschinengrundtypen ist vor allem ihr Bezug an der möglichst leichten Nutzung durch Facharbeiter. Ob es sich bereits

um einen allgemeinen Zukunftstrend handelt, wird die Folgezeit beweisen. Immerhin zeigen diese Angebote aber, daß die Werkzeugmaschinenhersteller in der Bundesrepublik und Europa anfangen, umzudenken (Herzog 1993; TR: EMO '93).

Inwieweit für diese hier kurz angesprochenen neuen Tendenzen bei Maschinenkonzepten auch grundlagenorientierte Forschungsvorhaben beigetragen haben, läßt sich im einzelnen nicht nachweisen. Es besteht aber eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, daß einige seit Anfang der 90er Jahre laufende Forschungsvorhaben und deren Diskussion in der Fachöffentlichkeit einen nicht zu unterschätzenden Beitrag für die Bereitschaft zum Wandel geleistet haben. Neben dem CeA-Forschungsverbund "Prozeßbeherrschung durch Erfahrungswissen und deren technische Unterstützung" (IfA-GhK 1993) sind hier vor allem auch das Verbundvorhaben "Lernen und Fertigen" (Sell und Henning 1993) zu nennen, die beide vom Projektträger "Arbeit und Technik" beim Bundesminister für Forschung und Technologie gefördert worden sind. Diesen Verbünden gehörten fast alle kompetenten wissenschaftlichen Einrichtungen von Universitäten der Bundesrepublik Deutschland an, die sich mit Werkzeugmaschinen befassen, ebenso aber auch eine Anzahl namhafter Hersteller von Maschinen und Steuerungstechnik und einige hervorgehobene Anwender aus Branchen, die einen hohen Einsatz von NC-Werkzeugmaschinen haben. Beide Vorhaben konzentrierten sich dabei auf unterschiedliche Fragestellungen. Der CeA-Forschungsverbund befaßte sich vornehmlich mit Fragestellungen zur Verbesserung von Prozeßtransparenz und Prozeßregulation: durch andere Maschinenkonstruktionen und neue Ein- und Ausgabemedien beim Umgang mit CNC-Maschinen. Das Verbundvorhaben "Lernen und Fertigen" bezog sich insbesondere auf die Verbesserung des Programmierverfahrens für Facharbeiter, um ihnen den Zugang zur Steuerung zu erleichtern.

Die Handlungsorientierung beider Vorhaben wurde vor allem durch den Einbezug von Facharbeitern bei der Entwicklung bestimmt.

## **6.2.2 Erweiterung von Entwicklungsperspektiven durch den Einbezug von Nutzern**

In beiden Vorhaben wurden ähnliche Gestaltungsziele verfolgt, nämlich Werkzeugmaschinen so zu gestalten, daß sie durch einen Facharbeiter aufgrund seiner Ausbildung und Berufserfahrung leicht handhabbar sind. Mit dieser Perspektive ergab sich in beiden Vorhaben die Notwendigkeit, auch andere Wege als bisher bei der Entwicklung neuer technischer Komponenten und Programmierverfahren zu beschreiten. Vor allem ging es darum, den späteren Nutzer einer Maschine oder eines Programmierverfahrens in den Entwicklungsprozeß als eine (gegenüber anderen Spezialisten) gleichwertige Bewertungsinstanz einzubeziehen, d.h. sowohl in die Schwachstellenanalyse zu Beginn, wie in die Definition des Pflichtenheftes, in den Test von prototypischen Lösungen und bei der Einführung in die Betriebspraxis. Neben der technischen Funktionalität (wie sie insbe-

sondere Spezialisten im Auge haben) kam auf diese Weise der Aspekt der arbeitsökonomisch sinnvollen Handhabkeit bzw. Nutzbarkeit (wie sie der Nutzer von Maschinen wünscht) im Entwicklungsprozeß gleichwertig zum Zuge. Sozial- und arbeitswissenschaftliche Institute übernahmen hierbei die Moderation bei der Bedarfsfeststellung und Konzeptbildung wie auch bei der Bewertung nutzungsorientierter Werkzeugmaschinen durch Facharbeiter. Ingenieure, Techniker und Sozialwissenschaftler beteiligten sich gemeinsam an Laborversuchen und an teilnehmender Beobachtung in den Betrieben. Bei der Planung von derartigen Laborversuchen und Erprobungen beim Anwender ergaben sich neue Formen im interdisziplinär organisierten Vorgehen, so wurden die Ergebnisse gemeinsam festgestellt und formuliert, und zwar nicht wie allgemein üblich, derart, daß die jeweiligen Fachdisziplinen getrennt Ergebnisse erarbeiten und erst im Nachhinein untereinander austauschen bzw. gegeneinander abgleichen.

Durch Workshops und Gruppengespräche zwischen Nutzern, Technikern, Ingenieuren (von wissenschaftlichen Instituten ebenso wie von Herstellern und Anwendern), aber auch Arbeits- und Sozialwissenschaftlern wurden auf der Grundlage interpersoneller Kommunikation unterschiedliche Aspekte gemeinsam integriert. Dies bezog sich einmal auf die gesetzten Forschungsaufgaben (im einen Falle die Steigerung von Prozeßtransparenz und Prozeßregulation, im anderen Falle der verbesserte Zugang zur Steuerung), ebenso aber auch auf weit in die Zukunft weisende Grundsatzfragen zur Verbesserung der Voraussetzungen für die Verbreitung neuer Konzepte.

Dazu gehören insbesondere Entwicklungen im Bereich der Informatik, z.B. im Hinblick auf objektorientiertes Modellieren und Programmieren. Hier wurde deutlich, daß Bearbeitungsvorgänge einerseits als Objekt angesehen werden können, wie es für die Entwicklung neuartiger Steuerungen von Bedeutung ist, andererseits diese Bearbeitungsvorgänge aber auch als Handlungsgestalten beim Arbeitshandeln verstanden werden können, also eine subjektorientierte Sichtweise erlauben.

Vor allem wurde offenbar, daß Werkzeugmaschinen ohne offene Systemarchitekturen nicht in der Lage sind, neue Ein- und Ausgabetechniken zur Erhöhung von Prozeßtransparenz und Prozeßregulation mit der Steuerung von Maschinen und hierauf bezogenen Zugängen zur Arbeitsplanung zu koppeln.

Die im CeA-Forschungsverbund "Prozeßbeherrschung durch Erfahrungswissen und deren technische Unterstützung" auf die Arbeit mit CNC-Maschinen bezogenen Erkenntnisse werden durch die Ergebnisse des CeA-Verbundvorhabens "Erfahrungswissen im CIM-Umfeld" wesentlich um auf kooperative Arbeit entlang Prozeßketten bezogene Erkenntnisse erweitert. Auch das ebenfalls vom Projektträger geförderte Verbundvorhaben PLANLEIT (Leitstände für die Werkstattsteuerung) trug hierzu bei (IAT 1992).

Auf die Fabrik der Zukunft bezogene Perspektiven können sich nicht darauf beschränken, die Funktionsfähigkeit von Werkzeugmaschinen am Handlungsbedarf einzelner Arbeitskräfte an Maschinen auszurichten, sondern müssen auch die Arbeitsvollzüge entlang Prozeßketten berücksichtigen, und zwar im Hinblick auf die Fertigung ebenso wie auf die Auftragsab-

wicklung. Unter diesem Blickwinkel kommt es darauf an, Prozeßketten begleitende Informationssysteme zu konzipieren und umzusetzen, die bidirektionale Informationsflüsse zulassen, d.h. sowohl Vorgaben oder Programme für die Werkstatt sowie darauf bezogene Rückmeldungen, ebenso aber auch die Erstellung von Arbeitsplänen und Programmen (bzw. Varianten) in der Werkstatt ermöglichen, die anderen Stellen lediglich gemeldet werden. Solche Informationssysteme bedürfen der Durchgängigkeit über die verschiedenen Stationen an der Prozeßkette, einer generellen Zuordnung von Optionen, aber auch einer anteiligen Verteilung der Funktionalitäten an diesen Stationen sowie eines geregelten Informationsaustausches zwischen den Stationen und zwar nicht nur aufgrund automatischer Datenverarbeitung, sondern auch aufgrund von persönlich vorgenommenen Eingaben, z.B. Kommentaren oder Ablage von Dokumenten (Rose 1992). Neben der technischen Kommunikation bedarf es gleichberechtigt interpersoneller Kommunikation, d.h. von Arbeitskräften untereinander an der Prozeßkette, z.B. zwischen Facharbeitern, Arbeitsvorbereitern, Büroprogrammierern und Konstrukteuren. Mit diesen Befunden werden weitere technische Grundlagenprobleme angesprochen, die heute noch ungeklärt sind.

Bei der Entwicklung von Werkzeugmaschinen und Informationssystemen für die Fertigung arbeiten nach wie vor verschiedene Entwicklungsträger, d.h. Hersteller von Maschinen, ebenso wie Hersteller von Steuerungstechnik, aber auch verschiedene Software-Anbieter und wissenschaftliche Einrichtungen, arbeitsteilig zusammen. Jeder dieser Entwicklungsträger arbeitet in der Regel mit eigenen Methodiken und Werkzeugen. Gäbe es die Möglichkeit, Werkzeuge untereinander zugänglich zu machen und könnte deren Einsatz nach Verwendung dokumentiert werden, so ergäbe sich ein Dialog- und Dokumentations-Management-System, in das die Erfahrungen verschiedener Berufsgruppen einfließen, das somit geeignet wäre, erheblichen Entwicklungsaufwand durch Reduzierung notwendiger Änderungen zu sparen. Wären die im Entwicklungsprozeß eingesetzten Werkzeuge auch Anwendern (z.B. durch eine auf sie zugeschnittene Version) verfügbar, so könnten die Anwender notwendige Anpassungen in der Betriebspraxis selbst vornehmen, z.B. hinsichtlich Integration, Aufrüstung, Handhabbarkeit und Wartung. Würden auch die Einsätze beim Anwender dokumentiert, würde der "Erfahrungsschatz" im Dialog- und Dokumentations-Management-System noch erweitert (und weiterer Aufwand hinsichtlich Änderungen reduziert). Außerdem bestünde dann auch eine höhere Chance, die an den Stationen einer Prozeßkette eingesetzten Methodiken untereinander zugänglich zu machen.

Die CeA-Forschungsverbünde und die Projekte "Lernen und Fertigen" sowie "PLANLEIT" haben damit nicht nur fachübergreifende Grundlagenprobleme im bisherigen technischen Entwicklungsprozeß aufgedeckt, sondern gleichzeitig auch Ansätze konturiert, um diese effektiv anzugehen. Sie bestätigen damit eine Reihe von Erkenntnissen aus der sozialwissenschaftlichen Technologieforschung, insbesondere der Technikgenese-forschung, wie sie beispielsweise Rammert 1992 im Überblick dargestellt hat. Allerdings gehen sie noch darüber hinaus, indem sie konkrete



Ansatzpunkte für die Zusammenarbeit von Praxis, Ingenieurwissenschaft und Sozialwissenschaft aufzeigen.

Auf der Grundlage des auf der EMO '93 offenbar gewordenen Wandels in den Produktzielen von Herstellern (z.B. auch aufrüstbare Low-cost-Maschinen anzubieten) sowie auf der Grundlage der Erkenntnisse der Forschungen im Rahmen des Programms "Arbeit und Technik" und des Programms zur sozialwissenschaftlichen Technologieforschung beim Bundesminister für Forschung und Technologie lassen sich die Umrisse für eine neuartige marktorientierte Innovationsstrategie bei der technischen Entwicklung von Werkzeugmaschinen beschreiben, die in Zukunft im Wettbewerb mit USA und Japan Bedeutsamkeit erlangen wird.

## **6.3 Vernetzt-rekursive Entwicklungsprozesse als zukünftig bedeutsame Innovationsstrategie**

Eine erfolgreiche, auf die Märkte der Zukunft gerichtete Innovationsstrategie für technische Entwicklungsprozesse im Werkzeugmaschinenbau muß in der Lage sein, die zuvor kurz skizzierten Schwachstellen, ebenso wie die durch Forschung erkannten bedeutsamen Ansatzpunkte zur Behebung der Schwachstellen aufzugreifen und eine praktikable neue Vorgehensweise sichtbar zu machen.

Eine solche Innovationsstrategie hat mehrere Bezugsebenen, auf denen jeweils für sich neue Lösungen gesucht werden können, wobei die jeweilig anderen Ebenen für eine Ebene zu beachtende spezifische Aspekte definieren. Werden die auf den verschiedenen Ebenen entwickelten Lösungen eingesetzt, entstehen nicht nur Effekte auf den einzelnen Ebenen. Es ergibt sich darüberhinaus ein zusätzlicher Gesamteffekt durch Synergie im Zusammenwirken der drei Ebenen. Diese Ebenen beziehen sich einmal auf die gemeinsam verfolgten Leitbilder bei technischen Entwicklungen, auf die aussichtsreichen Organisationsformen für den systematischen Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen den beteiligten Akteuren und auf die Werkzeuge, die bei technischen Entwicklungen und ihren Anwendungen zum Einsatz kommen.

### **6.3.1 Nutzerorientierte Leitbilder**

Wie Dierkes, Hoffmann und Marz in "Leitbild und Technik - Zur Entstehung und Steuerung technischer Innovationen" (1992) in historischen Fallstudien aufgezeigt haben, spielen Leitbilder als Orientierungspunkte eine nachweisbare Rolle für die konkrete Ausbildung von Entwicklungspfaden, auf denen die technische Entwicklung verläuft. Es handelt sich dabei um technische Leitbilder, die insbesondere von hervorgehobenen Einzelper-

sonen oder Gruppen koordiniert und vermittelt werden. Solche Leitbilder haben auch im Werkzeugmaschinenbau Bedeutung, wie Hirsch-Kreinsen in seiner Studie "NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozeß" für das Leitbild Werkstattorientierung ausführlich darlegt.

Fragen zur Werkstattorientierung von Steuerungen als Leitbild wurden in Deutschland bereits in den 50er Jahren erörtert (u.a. von Schmid, Simon, Opitz). Erste Prototypen für Werkzeugmaschinen dieses Typus finden sich ab 1970. Ab Mitte der 70er Jahre bildet sich für die technische Entwicklung von Werkzeugmaschinen ein betont werkstattorientierter Entwicklungspfad heraus. Als hervorgehobene Merkmale des Pfades erlangten vor allem Programmierhilfsmittel wie Programmiersprachen im Dialog, Verfahren der Bedien- und Programmierführung, Unterprogrammtechniken, Zyklenprogrammierung und Formen von Simulation Geltung. Ende der 70er Jahre gibt es einen Kulminationspunkt der Debatte über Vor- und Nachteile von Werkstattprogrammierung (siehe hierzu u.a. Hammer 1979 und Moll 1979). Danach ebte die Diskussion etwas ab, um ab Mitte der 80er Jahre, u.a. im Zusammenhang mit einer Debatte über rechnergestützte Facharbeit (siehe hierzu Blum 1987) und dem Verbundvorhaben "Werkstattorientierte Programmierverfahren (WOP)" wieder an Bedeutung zu gewinnen (Liese 1989).

Allerdings beziehen sich die Ergebnisse derartiger vorliegender Untersuchungen zur Technikgenese auf zurückliegende Entwicklungsprozesse. Sie geben lediglich Hinweise, in welchen Bereichen in Zukunft bedeutsame Leitbilder angesiedelt sein können. Die Besonderheit der CeA-Grundlagenforschung besteht insbesondere darin, diese in Zukunft bedeutsamen Leitbilder näher beschrieben zu haben. Damit gehen sie über die Ansätze der Forschung zu Technologiefolgen oder zu Technikgenese (Rammert 1992) im Sinne einer Technikbedarfsanalyse hinaus.

Die CeA-Forschungsverbünde haben die Konturen für vier Leitbilder offengelegt, die für die Entwicklung von Werkzeugmaschinen und Prozeßketten begleitende Informationssysteme in Zukunft die technischen Entwicklungspfade bestimmen werden. Es handelt sich hierbei um die Leitbilder

- "Offene Systemarchitekturen",
- "Interpersonelle Kommunikation entlang Prozeßketten",
- "Objektorientiertes Modellieren und Programmieren" und
- "Handlungsorientierte Ein- und Ausgabemedien".

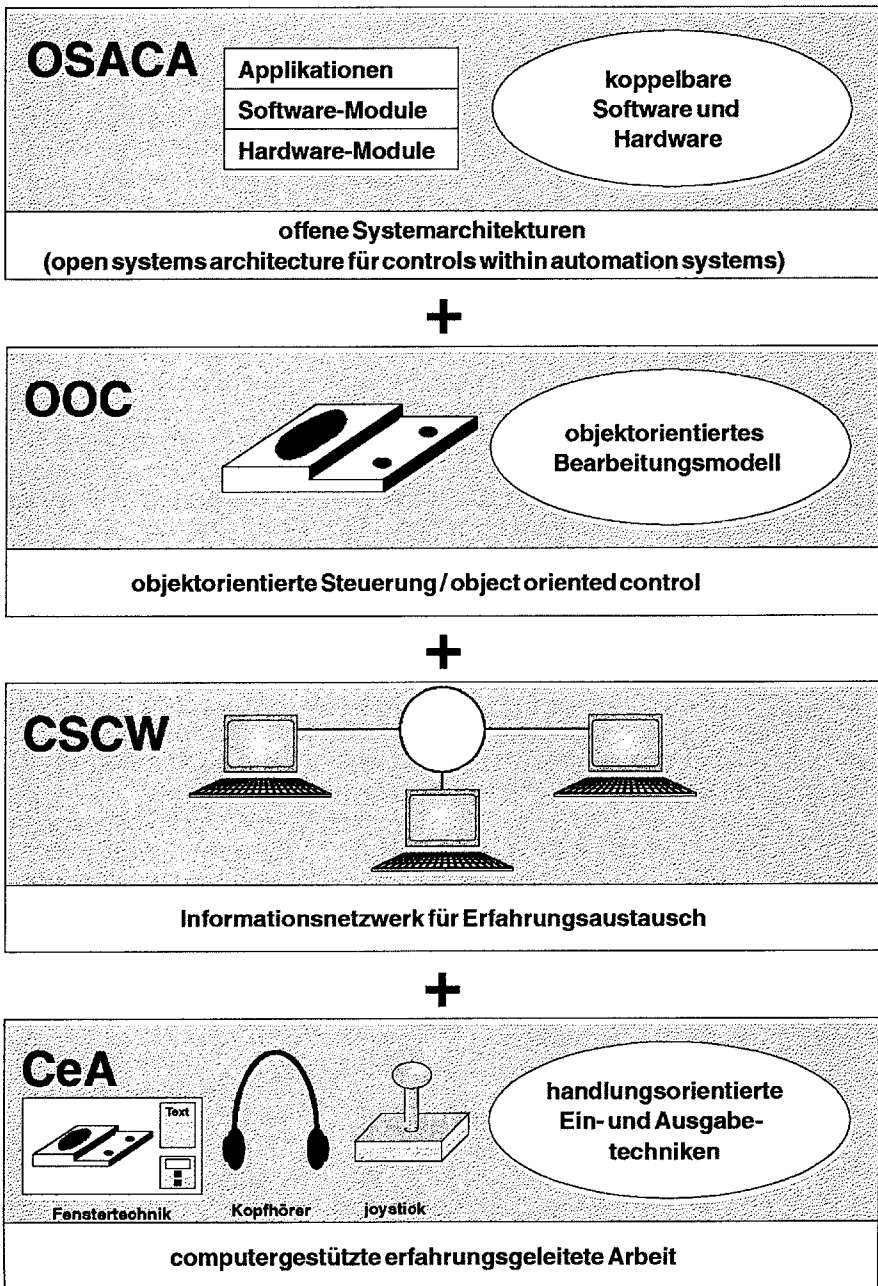


Bild 6.1: Leitbilder für Innovationen

(1) Das Leitbild "Offene Systemarchitekturen" bezieht sich auf die steuerungsinternen Funktionen und Schnittstellen von Werkzeugmaschinen, ebenso wie auf die steuerungsexternen Schnittstellen zu übergreifenden Informationssystemen (Weck, Kohring und Klein 1993; Politsch 1993; Pritschow 1992). Aufgrund normierter Schnittstellen lassen sich Hardware-Module und Software-Module untereinander und miteinander koppeln. Dadurch können neuartige Optionen für die Nutzung von Maschinen und Informationssystemen zur Verfügung gestellt werden, so daß je nach Kontext an einer Maschine oder an einer Station der Prozeßkette die jeweilige Option gewählt werden kann, die arbeitsökonomisch sinnvoll und zugleich für die Produktion am effektivsten ist.

Einen Schritt in diese Richtung wird im EG-Projekt OSACA (Open System Architecture for Controls within Automationsystems) vollzogen. Dieses Vorhaben hat die Definition einer hersteller- und hardwareunabhängigen Referenzarchitektur, welche die Funktionalitäten heutiger Werkzeugmaschinen-(NC-), Roboter-(RC-), Zellen-(CC-) und speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) umfaßt. Das Systemkonzept beinhaltet neben den funktionalen Einheiten und ihren Schnittstellen die Kommunikationsprotokolle und Konfigurationsmechanismen sowie die Schnittstellen zum Betriebssystem und zur Datenhaltung. Die OSACA-Referenzarchitektur bildet eine einheitliche Plattform für eine Familie von NC- und Roboter-Steuerungen, die aber auch für Fertigungszellen, beispielsweise mit Werkstück- und Werkzeughandhabung, eingesetzt werden kann.

Wesentliche Merkmale der OSACA-Architektur sind Portierbarkeit, Skalierbarkeit und Austauschbarkeit von Applikationsmodulen. Erreicht wird dies zum einen durch eine klare Trennung der Applikationssoftware von der Plattform. Letztere besteht aus der Systemsoftware und der Hardware und bietet eine genau spezifizierte Applikationsschnittstelle, über die Standarddienste aus den Bereichen Kommunikation, Datenhaltung, Grafik, Dialogverwaltung, Konfiguration und Betriebssystem zur Verfügung gestellt werden. Zum anderen ermöglichen standardisierte Syntax und Semantik sowie einheitliche Kommunikationsmechanismen, daß Module unterschiedlicher Hersteller zusammenarbeiten können. Durch die Einführung einheitlicher Schnittstellen zur Plattform und zwischen den Applikationsmodulen wird auch die Einbringung neuer Funktionalitäten möglich (Junghans 1993).

(2) Beim Leitbild "Interpersoneller Kommunikation entlang Prozeßketten" geht es einmal um die Definition von Schnittstellen einzelner Maschinen und Stationen für den Einsatz bereichsübergreifender bidirektionaler Informationssysteme, zum anderen um deren Hypertext- und Multimediafähigkeit, so daß Arbeitskräfte (mit unterschiedlicher Ausbildung und Berufserfahrung) Zugang erhalten wie auch ihre Erfahrungen eingeben und austauschen können, wodurch sie allen verfügbar wird. Damit ist eine technische Unterstützung zur Kooperation möglich, sowohl in einer Arbeitsgruppe (z.B. in der Werkstatt) als auch in einem abteilungsübergreifenden Aufgabennetz entlang Prozeßketten. Hierbei geht es um die Prozeßketten NC-Verfahrens- und Auftragsabwicklung und den Fluß von Geometrie-, Programm-, Plan- und Materialdaten. Dieser Datenfluß wird an

verschiedenen Stationen von unterschiedlich qualifizierten Berufsgruppen unter Nutzung getrennter Rechner und Datenbanken bearbeitet. Werden komplexe Produkte hergestellt und komplexe Auftragssteuerung vorgenommen, müssen auch komplexe Entscheidungen gefällt werden, die eine Entscheidungs-Rückkopplung an einzelnen Stationen voraussetzen. Soll dies effektiv geschehen, bieten sich hier Dialog- und Dokumentationssysteme an, in denen die in einer Situation aus den verschiedenen Datenbanken aufgerufenen Daten in ihrer gewählten Struktur als Dokument abgelegt werden können. Ansatzpunkte bieten hier die Forschungen und Entwicklungen zur computergestützten kooperativen Arbeit (computer supported cooperative work - CSCW) (vgl. u.a. Oberquelle 1991).

(3) Beim Leitbild "Objektorientiertes Modellieren und Programmieren" geht es um die Konzeption von Bearbeitungsmodellen und Prozeßketten auf der Grundlage von Bearbeitungsschritten mit Maschinen und Arbeitsvorgängen mithilfe von EDV-Systemen. Die Objektorientierung gestattet, an den Tätigkeiten von Arbeitskräften anzusetzen, so daß diese im Umgang mit Maschinen und Systemen von ihren konkreten Arbeitsvollzügen ausgehen können.

Dieser Sachverhalt soll kurz am Beispiel Werkzeugmaschine erläutert werden. Grundlage ist hierbei ein neues Konzept für die Informationsverarbeitung. Die konventionelle NC-Steuerung (numerical control) wird dabei durch eine OOC-Steuerung (object-oriented control) ersetzt.

Die entscheidenden Unterschiede gegenüber der konventionellen Vorgehensweise bei der NC-Programmierung sind:

- durchgängige Informationsverarbeitung von der Konstruktion bis zur Bearbeitung durch Nutzung eines OOC-Modells;
- maschinen- und steuerungsunabhängige, objektorientierte Handhabung der Werkzeugmaschine;
- neue Eingriffsmöglichkeiten während der Bearbeitung, z.B. beliebige Variationen der Bearbeitungsstrategie, erzwungene Werkzeugwechsel (z.B. Bruch oder Verschleiß) ohne Programmänderung, Bearbeitungsunterbrechungen zu jedem Zeitpunkt (z.B. Kontrolle);
- automatische Rückführung und Integration optimierter Bearbeitungswerte ("Erfahrungswerte") in das OOC-Modell zur späteren Wiederverwendung, z.B. bei Änderungen eines Bauteils (Röder, Fechter 1993).

Die Fertigungssteuerung kann ebenfalls auf der Basis einer objektorientierten Leitstandsarchitektur (OOLA) vorgenommen werden (vgl. hierzu Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement 1992).

(4) Beim Leitbild "Handlungsorientierte Ein- und Ausgabemedien" geht es darum, Arbeitskräften Optionen für einen handlungsbezogenen Umgang mit Maschinen und Systemen zu ermöglichen. Dazu gehören WOP-Oberflächen (Rundel, Thines 1993), ebenso wie Handräder, Joystick und Kopfhörer, um Arbeitskräften neben einem Automatik-Betrieb auch eine manuelle Steuerung an CNC-Maschinen möglich zu machen (Böhle, Carus, Schultze 1993; Ligner 1993).

Eine erste Darstellung der Leitbilder erfolgte auf der Fachkonferenz "Flexibilität durch Erfahrung" der CeA-Forschungsverbünde am 16. September 1993 im Rahmen der EMO '93 (Bolte und Martin 1993; Böhle und Rose 1993).

Allen skizzierten Leitbildern liegt die Umkehrung der herkömmlichen Denkweise zugrunde, nach der ein technisches Funktionsverständnis Vorrang hat und auch einzelne Entwicklungsträger allein aussichtsreich neue Entwicklungspfade betreten können. Die Leitbilder haben zwei gemeinsame Nenner, von denen der eine sich als herstellerübergreifende Orientierung und der andere als Nutzerorientierung bezeichnen lassen. Es geht beim systemischen Denken nicht nur um die Konzipierung technologischer Funktionsmodelle, sondern gleichberechtigt auch um deren sinnvolle Nutzung. Außerdem wird nicht mehr davon ausgegangen, daß ein Entwicklungspfad von einem einzigen Entwicklungsträger (z.B. Maschinenhersteller oder Steuerungstechnik-Hersteller) allein beschritten werden kann. Demgegenüber geht es eher darum, die Zusammenarbeit bei der Entwicklung zwischen Konstrukteuren verschiedener Hersteller, Softwareanbietern und Produktionsfachkräften verschiedener Anwender zu fördern und die dafür notwendige Voraussetzungen, Optionen für Entwicklungsarbeit ebenso wie für Produktionsarbeit, zu schaffen.

Zu solchen Voraussetzungen gehören neben Formen direkter interpersoneller Kommunikation insbesondere der Gebrauch gemeinsamer "Werkzeuge" als technische Unterstützung von Kooperation, letztlich aber auch notwendige Kompetenzen für Kommunikation und Kooperation (Sell und Fuchs-Frohnhofen 1993).

### **6.3.2 Notwendigkeit neuer herstellerübergreifender Kooperationsformen**

Derartige Leitbilder setzen sich breitenwirksam nicht allein dadurch um, daß ein Entwicklungsträger sie isoliert aufgreift und konkretisiert. Sicherlich ist es sinnvoll, daß einzelne Hersteller als Trendsetter in Verwirklichung einzelner Aspekte Signale setzen (wie dies im Fall des Projekts "Fertigen und Lernen" erfolgt ist). Für eine breitenwirksame Realisierung der Leitbilder insgesamt bedarf es aber komplexerer Kooperation zwischen kompetenten Partnern mit unterschiedlichem Erfahrungshorizont. Hierbei ist davon auszugehen, daß Forschung und Entwicklung, wie sie in Universitäten und Unternehmen betrieben wird, insbesondere auch der Ansprache und Verstärkung durch Instanzen bedürfen, die außerhalb der Einrichtung und Unternehmen angesiedelt sind. Diese können eher langfristige Perspektiven für ein gemeinsames Technologieniveau aufzeigen und Sicherheit im Hinblick auf die Risikobewältigung vermitteln. Beides ist wichtig, wenn Innovations-Sprünge möglich werden sollen. Solche Instanzen können Verbände sein, wie z.B. der Arbeitgeberverband Gesamtmetall (siehe hierzu deren M+E-Forum '92), die Industriegewerkschaft Metall (siehe hierzu Blum 1993), aber auch andere branchenübergreifende Institutionen wie beispielsweise das Rationalisierungskuratorium der deutschen Wirt-



schaft - RKW (siehe hierzu eine Fachtagung des RKW 1993 zum Thema "Eine flexible Arbeitsorganisation braucht eine offene facharbeitergerechte Steuerung"), der Verband deutscher Werkzeugmaschinen (siehe hierzu die Broschüre: "Kleine Ursache, große Wirkung" 1993) oder das Bundesministerium für Forschung und Technologie (siehe hierzu das Programm "Arbeit und Technik" 1993). Diese Instanzen können eine branchen- und unternehmensübergreifende "Forschungs- und Entwicklungskultur" als Rahmen schaffen, innerhalb deren dann Entwicklungsträger wie Maschinenhersteller, Steuerungstechnik-Hersteller, Software-Häuser und wissenschaftliche Einrichtungen, zusammen mit Anwendern und Nutzern, aktiv werden (Hanusch und Cantner 1993).

Mit den hier skizzierten Projekten werden anderweitige Ergebnisse aus der Technikgeneseforschung bestätigt, nach denen Innovationen als rekursiver Prozeß zu verstehen sind (Asdonk, Bredeweg und Kowol 1991). Die Entwicklung neuer Techniken vollzieht sich nicht mehr linear über generelle Entwicklungsstufen, sondern innerhalb zahlreicher Rückkopplungsschleifen, Iterationen und Überschneidungen in kontextbezogenen Schnitten bei der Innovation. Es sind interne Rekursionen in den Betrieben von Herstellern wie auch externe Rekursionen bei der Zusammenarbeit dieser Betriebe mit anderen Entwicklungsträgern zu unterscheiden. Werden solche Rekursionen systematisch geplant und gestützt, können die Transaktionskosten bei Entwicklungen wesentlich reduziert werden.

Wie Beiträge zur Technikgeneseforschung (z.B. von Kalkowski und Manske 1993) zeigen, bestehen hinsichtlich dieser Rekursionen im Maschinenbau verschiedene Gefährdungen. Hinsichtlich externer Rekursionen besteht die Gefahr von Eingrenzungen durch die Dominanz "technischer Rationalität" auf der Grundlage einer Verwissenschaftlichung der Produktion (Böhle 1992), wodurch die "ökonomische Rationalität" eher zu kurz kommt. Dies ist mit einer der Gründe, warum universell im Arbeitskontext unmittelbar nutzbare Werkzeugmaschinen und Informationssysteme vernachlässigt worden sind und die strukturelle Krise im Maschinenbau entstehen konnte. Hinsichtlich der internen Rekursion wird darauf hingewiesen, daß der bisher übliche Erfahrungsaustausch zwischen Produktionsfachkräften und Konstrukteuren sowie Entwicklern dadurch in Gefahr ist, daß die beruflichen Orientierungen und Rekrutierungsmuster in Unternehmen sich ändern. Stiegen früher häufig auch Produktionsfachkräfte in Konstruktion und Entwicklung auf, so daß deren Erfahrung bei der Entwicklung eine Rolle spielen konnte, kommt es heute eher zum Seiteneinstieg in Unternehmen durch Absolventen von technischen Hochschulen und Fachhochschulen. In vielen Unternehmen des Maschinenbaus besteht auch eine Spannung zwischen Abteilungen für Mechanik, Elektrotechnik und Elektronik, die für einen abteilungsübergreifenden Erfahrungsaustausch hinderlich ist.

Auch zwischen den an Entwicklungsprozessen überbetrieblich Beteiligten bestehen nach wie vor erhebliche Kooperationsdefizite. Meist arbeiten lediglich ein Hersteller mit einem Steuerungstechnikhersteller und einigen Lieferanten zusammen, um für einen Kunden ein Produkt zu erstellen. Weitergehende Kooperation wird zwar befürwortet, aber nicht praktiziert (Belzer 1993).



### 6.3.3 Forderung nach multifunktionalen Entwicklungswerkzeugen

Vernetzt-rekursive Entwicklungsprozesse werfen damit andere Fragen auf, als dies bei den bisher üblichen linear sequentiellen Entwicklungsprozessen der Fall ist (Bild 6.2). Im Mittelpunkt stehen insbesondere Fragen, wie Kooperation und dadurch gestützt Erfahrungsaustausch zwischen verschiedenen Berufsgruppen oder Entwicklungsträgern stattfinden kann. Derartige Kooperation bedarf sowohl der interpersonellen Kommunikation, d.h. des Austausches zwischen Personen mit unterschiedlichen Erfahrungshorizonten und Interessenbezug, ebenso aber auch einer technischen Unterstützung beim Austausch datentechnisch erfaßbarer Informationen. In der Langfristperspektive geht es um den Ausbau von Dialog- und Dokumentationssystemen für die Entwicklung und Nutzung von Werkzeugmaschinen, durch die "Entwicklungswerkzeuge" für verschiedene Akteure bei Entwicklungs- und Anwendungsprozessen bereitgestellt werden (vgl. hierzu Fähnrich, Janssen und Groh 1993). Sind solche "Entwicklungswerkzeuge" objektorientiert gestaltet, kann die Kommunikation sich an solchen Objekten als Bezugspunkt ausrichten. Das läßt auch zu, daß subjektiv gewonnene Einsichten und Erfahrungen auf solche Bezugspunkte orientiert werden können und somit ein Austausch subjektiv gewonnener Erfahrungen möglich wird. Bedienen sich verschiedene Entwickler und Anwender solcher "Entwicklungs-Werkzeuge", kommt es nicht nur zu einem besseren Verständnis untereinander, sondern auch zu Kostenreduzierungen bei notwendigen Änderungen. Können Erfahrungen im Umgang mit "Entwicklungs-Werkzeugen" in das Dialog- und Dokumentationssystem als Version abgelegt werden, so ergibt sich ein hypertextfähiges System, das insgesamt den höchsten "Erfahrungsschatz" aller Akteure beinhaltet. Für die Produktion im 21. Jahrhundert bedarf es bei der Produktentwicklung einer herstellerübergreifenden Reintegration von Konstruktionsperspektiven und Anwendungsprozessen, ähnlich wie es einer Reintegration von Planungs- und Ausführungsaufgaben im Produktionsbetrieb bedarf.

## 6.4 Forschungsfelder für die Produktion im 21. Jahrhundert auf der Grundlage der neuen Innovationsstrategien

Die Umsetzung der neuen Innovationsstrategien erfolgt durch Entwicklungsarbeit in Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen, ebenso wie durch staatliche Förderprogramme. Die Bedeutung der staatlichen Förderprogramme liegt insbesondere darin, daß sie herstellerübergreifende Entwicklungspfade (durch Unterstützung bei risikoreichen Entwicklun-

gen) öffnen können. Dies ist in einzelnen Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen kaum möglich. In diesem Zusammenhang sind insbesondere zwei Programme des Bundesministeriums für Forschung und Technologie zu nennen. Dabei handelt es sich einmal um das Programm "Arbeit und Technik" und zum zweiten um das Programm "Produktion im 21. Jahrhundert".

Beim Projektträger "Arbeit und Technik" des Bundesministers für Forschung und Technologie sind 1994 drei Verbundvorhaben angelaufen, die in dem hier entwickelten Zusammenhang von weitreichender Bedeutung sind. Es handelt sich um die Verbundvorhaben "Handlungsorientierte Lösungen für Werkzeugmaschinen-Steuerungen zur Unterstützung erfahrungsgeleiteter und gruppenfähiger Facharbeit", "Innovative Wege für die Handlungsunterstützung des Facharbeiters an Werkzeugmaschinen" und "Werkstattgerechte Nutzerunterstützung bei der Freiformflächenbearbeitung". Sie gründen sich auf vorausgegangene Forschungsvorhaben und ein Fachgespräch beim Projektträger "Arbeit und Technik" über "Neue Dimensionen für Attraktivität und Produktivität von Facharbeit" am 13. Oktober 1993. In diesem Fachgespräch wurden zehn für die Zukunft bedeutsame Perspektiven formuliert. Sie beziehen sich auf:

- handlungsorientierte Arbeitsgestaltung an der Werkzeugmaschine,
- Prozeßtransparenz an der Werkzeugmaschine und in Prozeßketten,
- schrittweises Innovieren von Werkstätten durch Aufrüsten von Werkzeugmaschinen und Einsatz unterschiedlicher Maschinentypen,
- Gruppenfähigkeit eingesetzter Maschinen und Systeme,
- Anstöße zur Personalentwicklung durch Einbezug verschiedener Nutzergruppen,
- Arbeitsorientierung auch bei automatisierten Fertigungsstrukturen,
- erfahrungsgeleitete Arbeit in Verfahrensketten, z.B. bei der Freiformflächenbearbeitung,
- Berücksichtigung arbeitsorientierter Wertschöpfungsketten in der Entwicklung und
- neue Leitbilder und Kooperationsformen für nutzerorientierte Technikentwicklung.

Aus sozialwissenschaftlicher Sicht ist auf diesem Fachgespräch am 13. Oktober 1993 in Bonn zum ersten Mal ein neues technologisches Paradigma "Herstellerübergreifende und nutzerorientierte Entwicklung von Werkzeugmaschinen" im Zusammenhang behandelt worden. Derartige "technologische Paradigmen" repräsentieren eine komplexe Wissensbasis, um eine Vielfalt von Entwicklungsmöglichkeiten zu öffnen (Hanusch und Cantner 1993). Es wurde auf dem Workshop in Aachen am 14.10. 1993 über "Innovationen im Werkzeugmaschinenbau" (WZL u.a. 1993) und auf der Abschlußpräsentation der CeA-Forschung "Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit in der Produktion" am 17. 03. 94 in Hamburg weiterführend strukturiert.

Das Programm "Produktion im 21. Jahrhundert" ist noch im Entstehen (Warnecke u.a. 1993). Hierbei ist das IPA in Stuttgart vom Bundesminister für Forschung und Technologie beauftragt, 1994 einen Vorschlag für ein Forschungsprogramm vorzulegen. Dieser Vorschlag wird gemeinsam mit

verschiedenen Arbeitskreisen erarbeitet. Im Zusammenhang mit den hier beschriebenen neuen Innovationsstrategien ist insbesondere der Arbeitskreis von Bedeutung, der dem Verein Deutscher Werkzeugmaschinenhersteller (VDW) zugeordnet ist. Dieser hat sich zur Aufgabe gemacht, Vorschläge für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für seine Mitglieder, den Werkzeugmaschinenherstellern in der Bundesrepublik Deutschland, zu erarbeiten. Dabei finden sich einige wesentliche Übereinstimmungen mit dem skizzierten Strategieansatz. So geht es insgesamt um die "Entwicklung herstellerübergreifender Module für den nutzerorientierten Einsatz der offenen Steuerungsarchitektur". Als mögliche Ansatzpunkte sind u.a. Projektgemeinschaften vorgesehen für die "Definition einheitlicher Dienste der Steuerungsplattform für "Entwicklungs-, Projektierungs- und Konfigurations-Werkzeuge" und für die "Modularisierung von Benutzungsoberflächen". Hierbei geht es im Kern um die Konzeptionierung und Erprobung von Software-Werkzeugen, die von Herstellern wie Anwendern simultan eingesetzt werden können, also auch um technisch gestützte neue Kooperationsformen (VDW 1994).

Mit der Unterstützung derartiger Forschung und Entwicklung kann das Bundesministerium für Forschung und Technologie im allgemein inkrementell verlaufenden technischen Wandel Schrittmacherfunktion für "Innovations-Sprünge" übernehmen (Hanusch und Cantner 1993), die für eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit bei Herstellern wie für eine arbeitsorientierte Rationalisierung bei Anwendern gleichermaßen bedeutsam sind.

## 6.5 Literatur zu Kapitel 6

- Arbeitgeberverband Gesamtmetall (Hg.): Mensch Arbeit Technik. M+E Forum '92. Köln: 29. Oktober 1992.
- Asdonk, J.; Bredeweg, U.; Kowol, U.: Innovation als rekursiver Prozeß. In: Zeitschrift für Soziologie (1991) 4, S. 290-304.
- Belzer, V.: Unternehmenskooperation. Erfolgsstrategien und Risiken im industriellen Strukturwandel. München 1993.
- Blum, U.: Die Chance liegt in europäischen Techniklösungen. In: Technische Rundschau Wissen 85 (1993) September, S. 77-79.
- Blum, U.: Technische und personelle Möglichkeiten und Grenzen der Werkstattprogrammierung. In: Werkstatt und Betrieb, 120 (1987) 4, S. 255-258.
- Böhle, F.: Grenzen und Widersprüche der Verwissenschaftlichung von Produktionsprozessen. In: Malsch, T.; Mill, U. (Hg.): Arbeit. Berlin: Edition-Sigma 1992.
- Böhle, F.; Carus, U.; Schulze, H.: Manuelle Steuerung von CNC-Werkzeugmaschinen. In: VDI-Z 135 (1993) 3, S. 14-20.



- Böhle, F.; Rose, H.: CeA - Innovationskonzept für Werkzeugmaschinen mit Zukunft. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (1993) 9, S. 413-415.
- Bolte, A.; Martin, H. (Hg.): Flexibilität durch Erfahrung. Computerunterstützte erfahrungsgeleitete Arbeit in der Produktion. Kassel: Institut für Arbeitswissenschaft 1993.
- Brödner, P.; Schultetus, W.: Erfolgsfaktoren des japanischen Werkzeugmaschinenbaus. Eschborn: RKW 1992.
- Davidow, W. H.; Malone, M. S.: Das virtuelle Unternehmen. Frankfurt: Campus 1993.
- Dierkes, M.; Hoffmann, U.; Marz, L.: Leitbild und Technik. Zur Entstehung und Steuerung technischer Innovationen. Berlin: Edition-Sigma 1992.
- Fähnrich, K. P.; Janssen, Ch.; Groh, G.: User Interface Management. Teil 1 in: Technische Rundschau 85 (1993) 35, S. 100-104. Teil 2 in: Technische Rundschau 85 (1993) 40, S. 42-47.
- Hammer, H.: Technische, betriebliche und wirtschaftliche Aspekte der Werkstattprogrammierung. In: VDI-Z, 121 (1979) 20, S. 999-1007.
- Hanusch, H.; Cantner, U.: Neuere Ansätze in der Innovationstheorie und der Theorie des technischen Wandels - Konsequenzen für eine Industrie- und Technologiepolitik. In: Meyer-Krahner, F. (Hg.): Innovationsökonomie und Technologiepolitik. Berlin 1993, S. 47 -67.
- Herzog, H. H.: Zurück zum sanften CNC-Umstieg. In: Technische Rundschau 85 (1993) 43, S. 25-25.
- Hirsch-Kreinsen, H.: NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozeß. Amerikanische und deutsche Innovationsmuster der Fertigungstechnik. München/Frankfurt/M: Campus 1993.
- Institut für Arbeitswissenschaft der Gesamthochschule Kassel (Hg.): Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung. Kassel: Eigenverlag 1992.
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT): Leitstände für die Werkstattsteuerung (PLANLEIT). Zwischenbericht an den BMFT. Stuttgart: Universität September 1992.
- Junghans, G.: Auf dem Weg zur gemeinsamen Systemarchitektur. In: Technische Rundschau 85 (1993) 37, S. 38-39.
- Kalkowski, P. Manske, F.: Innovation im Maschinenbau. Ein Beitrag zur Technikgeneseforschung. In: SOFI-Mitteilungen Nr. 20. Göttingen 1993, S. 62-85.
- Liese S. (Hg.): Werkstattorientierte Programmierverfahren (WOP). Ein Beitrag zur Weiterentwicklung qualifikationsorientierter Produktion. KfK-PFT 138, Karlsruhe: Kernforschungszentrum 1989.
- Ligner, P.: Frei positionierbare "elektronische Handsteuerung" mit Prozeßrückkopplung. In: Technische Rundschau Wissen 85 (1993) September, S. 25.
- Moll, H. H.: Zeitgerechte Arbeitsgestaltung. In: VDI-Z, 121 (1979) 10, S. 459-468.
- Moritz, E.: Ein Vergleich von Strategien und Vorgehensweisen in der Produktinnovation in Japan und Deutschland am Beispiel des Werkzeugmaschinenbaus. Tokio, Technische Universität, Diss. 1993.
- Moritz, E.; Moldaschl, M.: Äpfel und Birnen. Ein Vergleich des deutschen und japanischen Werkzeugmaschinenbaus. In: Fertigung (1993) Dezember, S. 16-22.



- Oberquelle, H. (Hg.): Kooperative Arbeit und Computerunterstützung. Stuttgart: Verlag f. Angewandte Psychologie 1991.
- Politsch, H. W.: CIM braucht offene Architekturen. Über neue CNC-Steuerungen zum Werkstatt-CIM. In: Technische Rundschau, 85 (1993) Februar, S. 18-24.
- Pritschow, G.: Merkmale eines offenen Steuerungskonzepts. In: Tagungsband "Offene Steuerung". Landsberg: Verlag Moderne Industrie 1992.
- Projekträger Arbeit und Technik: Fachgespräch "Neue Dimensionen für Attraktivität und Produktivität von Facharbeit, Teilnehmerunterlagen, 13. Okt. 1993, BMFT Bonn.
- Rammert, W.: Entstehung und Entwicklung der Technik: Der Stand der Forschung zur Technikgenese in Deutschland. In: Journal für Sozialforschung (1992) 2, S. 177-208.
- RKW: Rationalisierungskuratorium der deutschen Wirtschaft (Hg.): Anforderungen an eine offene facharbeitergerechte CNC-Steuerung. Eschborn: RKW 1993.
- Röder, H.; Fechter, Th.: Ein objektorientiertes Steuerungskonzept. WGP-Kurzberichte, (1993) 1.
- Rose, H.: Erfahrungsgeleitete Arbeit als Innovationskonzept für Arbeitsgestaltung und Technikentwicklung. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 46 (1992) 3, S. 145-149.
- Rundel, P.; Thines, U.: Technikkonzept für schlanke Produktion. In: Technische Rundschau 85 (1993) 22, S. 24 - 28.
- Sell, R.; Henning, K. (Hg.): Lernen und Fertigen. Konzepte zur facharbeitergerechten Gestaltung von Technik, Organisation und Qualifizierung am Beispiel rechnergestützter Fertigung. Arbeitsbericht Nr. 43 aus dem HDZ-KDI der RWTH Aachen. Aachen 1993.
- Sell, R.; Fuchs-Frohnhofen, P.: Gestaltung von Arbeit und Technik durch Beteiligungsqualifizierung. Opladen: Westdeutscher Verlag 1993.
- Technische Rundschau: TR-Wissen EMO '93 CNC-Steuerungen, 85 (1993) September.
- VDW: Entwicklung herstellerübergreifender Module für den nutzerorientierten Einsatz der offenen Steuerungsarchitektur. Vorschlag des Arbeitskreises "Offene Steuerungen" für einen Förderschwerpunkt beim BMFT. Frankfurt März 1994.
- VDW: Kleine Ursache - große Wirkung. Warum von ein paar tausend Arbeitsplätzen im Werkzeugmaschinenbau Millionen andere abhängen. Frankfurt 1993.
- Warnecke, H. J.; Becker, B., Förster, T. Spengler G.: Strategien für die Produktion im 21. Jahrhundert. Zwischenbericht vom 22.10.1993. Stuttgart: IPA 1993.
- Weck, M.; Kohring, A.; Klein, F.: Offene NC-Systeme, Grundlagen herstellerunabhängige Flexibilität. In: VDI-Z 135 (1993) 5, S. 51-55.
- WZL, KDI/HDZ RWTH Aachen: Workshop "Innovationen im Werkzeugmaschinenbau". Teilnehmerunterlagen. Aachen 14. Okt. 1993.

# 7      **Anhang**

## **7.1      Liste der beteiligten Institute im CeA1- Verbund**

Institut für Arbeitswissenschaft der Universität Gesamthochschule Kassel  
(GhK-IfA)

Prof. Dr.-Ing. Hans Martin (Koordination und Leitung)

Dr. Annegret Bolte, Dipl.-Ing. Sören Striepe

CNC-Zentrum Hamburg (CNC-Z)

Peter Golinski, Gerd Welzk

Forschungsgruppe Arbeitssoziologie und Technikgestaltung GmbH,  
Berlin (FGAT)

Prof. Dr. Detlef Krüger

Dipl.-Ing. Peter Ligner

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik,  
Berlin (FhG-IPK)

Dr.-Ing. Kai Mertens

Dipl.-Ing. Martin Carbon, Dipl.-Sozw. Peter Heisig

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung,  
Karlsruhe (FhG-ISI)

Dr. Gunter Lay

Dipl.-Kfm. Matthias Klimmer

Institut für Arbeitsingenieurwesen der Technischen Universität Dresden  
(AIW)

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Kruppe

Dipl.-Ing. Karin Joiko, Dipl.-Ing. Evelyn Linke, Dipl.-Ing. Gerd Kullmann,

Dipl.-Ing. Gernot Pascher

Institut für Produktionstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen der  
Technischen Hochschule Darmstadt (PTW)  
Prof. Dr.-Ing. Herbert Schulz  
Dipl.-Ing. Roland Ruppel

Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung, München (ISF)  
PD Dr. Fritz Böhle, Dr. Helmuth Rose

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der Technischen  
Universität Berlin (IWF)  
Prof. Dr.-Ing. Drs. Günther Spur  
Dipl.-Inf. Angelica Costa, Prof. Dipl.-Ing. Uwe Metzler

Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der Rheinisch-  
Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (WZL)  
Prof. Dr.-Ing. Manfred Weck  
Dipl.-Ing. Robert Mertens

Psychologisches Institut I der Universität Hamburg  
Prof. Dr. Harald Witt  
Dipl.-Psych. Ursula Carus, Dipl.-Psych. Hartmut Schulze

## 7.2 Liste der beteiligten Unternehmen

### Herstellerbetriebe

Gildemeister N.E.F.  
Drehmaschinen GmbH, Bielefeld

Dr. Johannes Heidenhain GmbH, Traunreut

MAHO GmbH, Pfronten

Philips Industriesteuerung, Werk Kassel

Siemens AG, Erlangen

### Anwenderbetriebe

BMW AG, München

B. Braun Melsungen AG, Melsungen

Index-Werke KG, Esslingen / Neckar

FX Marquart GmbH, Reichenbach / Heuberg

Pacoma Hydraulik GmbH, Eschwege

Phywe Systeme GmbH, Göttingen

Siemens AG, Erlangen

Vickers Systems GmbH, Mainhausen 1 / Zellhausen